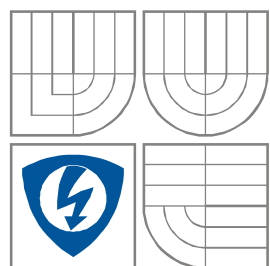


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

# **MIKROSKOP A MOŽNOSTI JEHO VYUŽITÍ V TECHNICKÉ PRAXI**

**MICROSCOPE AND IT'S USE IN ENGINEERING PRACTISE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

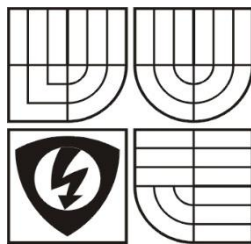
Jiří Kopecký

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. František Veselka, CSc.

BRNO, 2011



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

**Student:** Jiří Kopecký

**Ročník:** 3

**ID:** 119487

**Akademický rok:** 2010/11

**NÁZEV TÉMATU:**

**Mikroskop a možnosti jeho využití v technické praxi**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Zpracujte přehled technických možností využití mikroskopu.
2. Zpracujte stručný pracovní postup pro práci s tímto zařízením.
3. Ověřte technické možnosti mikroskopu na praktickém využití metody „Prachových částic“. Zpracujte výsledky dlouhodobých zkoušek s využitím této metody.
4. Specifikujte získané poznatky.

**Termín zadání:** 23.9.2010

**Termín odevzdání:** 30.5.2011

**Vedoucí projektu:** doc. Ing. František Veselka, CSc.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá problematikou využití světelného mikroskopu v technické praxi a jeho využitím při automatizování diagnostické metody zaměřené na elektrické stroje s kluzným kontaktem. Tato metoda se nazývá metoda prachových částic, používaná ke stanovení úbytku kartáče používaného v těchto strojích. Stávající metoda spočívá v ručním vyhodnocování pořízeného záznamu, což je náročné na provádění zkoušek a zpracování záznamu. Cílem této práce je zjednodušit a urychlit metodu pomocí počítačové analýzy. V první části se analogizují na využití mikroskopu, s jehož pomocí se získávají vzorky, na které se metoda aplikuje. Dále je objasněna aplikace metody prachových částic na vytvořeném vzorku a následuje analýza programem MATLAB. Pro toto programové vybavení je zpracován návod na provedení obrazové analýzy vzorků a eliminaci vznikajících vad. V další fázi je pomocí programu MATLAB zpracován výpočet celkového objemu zachycených částic z provedeného měření na kartáči LFC 55h mikroskopem Arsenal LPT 1513 – T.

## **Klíčová slova**

Metoda prachových částic; mikroskop; kluzný kontakt; obrazová analýza; prahování;

## **Abstract**

This work deals with the use of the light microscope in industry and its use within the automatization of the diagnostic method specialized on electrical machines with a sliding contact. The method is called the dust particles method and it is used to determine the loss of the brushes used in the machines. The current method involves a manual evaluation of an acquired data, which demands additional tests and the evaluation itself is very difficult. The objective of this work is to simplify and accelerate the method using the computer analysis. First, the usage of the light microscope, through which the samples are obtained, is showed. The method uses these samples as the input. Then, the principles of the dust particles method are demonstrated and the image analysis using the MATLAB program follows. The guide to the image analysis with the elimination of rising defects using the MATLAB program is available. Then, the volume of the intercepted dust particles is calculated using the MATLAB program. The dust particles were obtained from the LFC 55h brush using the Arsenal LPT 1513 – T light microscope.

## **Keywords**

Method of dust particles; microscope; sliding contact; image analysis, treshold;

## **Bibliografická citace**

KOPECKÝ, J. *Mikroskop a možnosti jeho využití v technické praxi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. František Veselka, CSc..

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Mikroskop a možnosti jeho využití v technické praxi* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

Podpis autora .....

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. František Veselka, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

Podpis autora .....

## OBSAH

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>2 VYUŽITÍ MIKROSKOPU V TECHNICKÉ PRAXI .....</b>	<b>12</b>
2.1 TECHNICKÉ MOŽNOSTI MIKROSKOPU ARSENAL 1513-T .....	13
2.1.1 Oblast použití .....	13
2.1.2 Technické vlastnosti .....	13
2.2 PŘÍPRAVA VZORKU .....	14
2.2.1 Záznam vzorku .....	14
2.3 PRACOVNÍ POSTUP PRO PRÁCI S MIKROSKOPEM.....	15
2.3.1 Využití programového vybavení k zpracování obrazu .....	17
<b>3 METODA PRACHOVÝCH ČÁSTIC .....</b>	<b>17</b>
3.1 STÁVAJÍCÍ METODA .....	17
3.2 ZPRACOVÁNÍ DEMONSTRAČNÍHO VZORKU STÁVAJÍCÍ METODOU .....	17
3.2.1 Demonstrační obrázek .....	18
3.2.2 Zpracování výpočtu.....	18
3.2.3 Přepočet zjištěného objemu na velikost opotřebení kartáče .....	19
3.3 TEST VZORKU POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY V PROGRAMU MATLAB .....	20
3.3.1 MATLAB.....	20
3.3.2 Zjištění počtu částic v obraze.....	20
3.3.3 Zjištění parametrů částic v obraze.....	21
3.3.4 Výsledky zjištěné programem MATLAB.....	22
<b>4 VADY VZORKŮ A MOŽNOSTI JEJICH ODSTRANĚNÍ.....</b>	<b>23</b>
4.1 PŘEHLED VAD VYSKYTUJÍCÍ SE NA VZORCÍCH.....	23
4.1.1 1.typ vady tzv. bubliny.....	23
4.1.2 2.typ vady tzv. šmouhy.....	26
4.1.3 3. typ vady .....	29
4.2 ODSTRAŇOVÁNÍ VAD VZORKŮ .....	29
4.2.1 Odstraňování vady 2. tzv. čmouhy .....	29
4.2.2 Ukázka odstranění vad.....	30
<b>5 ZJIŠŤOVÁNÍ OBJEMU ČÁSTIC ZE VZORKŮ .....</b>	<b>33</b>
5.1 STANOVENÍ PRAHU A MAXIMÁLNÍ VELIKOSTI ČÁSTICE.....	33
5.2 STANOVENÍ OBJEMU VZORKU:.....	34
<b>6 VÝPOČET OPOTŘEBENÍ KARTÁČE Z ANALYZOVANÝCH DAT .....</b>	<b>35</b>
6.1 TYP KARTÁČE: .....	35
6.2 PŘEPOČET CELKOVÉHO OBJEMU NA VELIKOST OPOTŘEBENÍ KARTÁČE: .....	36
6.3 VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH DAT Z PROVEDENÉ ANALÝZY: .....	37
<b>7 ZÁVĚR .....</b>	<b>38</b>
<b>8 LITERATURA.....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>40</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1:	SCHÉMA OPTIKY MIKROSKOPU (PŘEVZATO [1]).....	12
OBR. 2:	UKÁZKA MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ (PŘEVZATO Z [2]).....	13
OBR. 3:	ROZDĚLENÍ SKLÍČKA A SMĚR POSTUPU ZÁZNAMU .....	14
OBR. 4:	URČENÍ MĚŘÍTKA V ZÍSKANÝCH SNÍMCÍCH.....	15
OBR. 5:	ZACHYCENÉ PRACHOVÉ ČÁSTICE NA SKLÍČKU (PŘEVZATO [3]).....	16
OBR. 6:	ZNAČENÍ ROZMĚRŮ KARTÁČE .....	17
OBR. 7:	PRAKTICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRACHOVÝCH ČÁSTIC NA SKLÍČKU .....	18
OBR. 8:	ZÁVISLOST ČETNOSTI ČÁSTIC PROLOŽENÁ PŘÍMKOU .....	19
OBR. 9:	ZJIŠTĚNÉ PARAMETRY TESTOVACÍHO VZORKU .....	21
OBR. 10:	VYTVOŘENÝ SNÍMEK ZNÁZORŇUJÍCÍ TYP VZNIKAJÍCÍ VADY.....	23
OBR. 11:	DETAIL VZNIKLÉ VADY Z OBR. 10 B).....	23
OBR. 12:	VÝSLEDNÝ OBRAZ PO APLIKACI PRAHU A OMEZENÍ ČÁSTIC .....	24
OBR. 13:	DETAIL OHRANIČENÍ ČÁSTICE .....	24
OBR. 14:	DETAIL REÁLNÉHO PROBLÉMU ZE VZORKU .....	25
OBR. 15:	UKÁZKA PRŮBĚHU ANALÝZY PO JEDNOTLIVÝCH KROCÍCH NA DETAILU VADY .....	25
OBR. 16:	VYTVOŘENÝ SNÍMEK ZNÁZORŇUJÍCÍ TYP VADY OZNAČENÉ JAKO ŠMOUHA.....	26
OBR. 17:	DETAILNÍ ZOBRAZENÍ JEDNOTLIVÝCH KROKŮ ANALÝZY.....	26
OBR. 18:	VÝSLEDNÝ OBRAZ PO APLIKACI VÝPOČETNÍHO ALGORITMU .....	27
OBR. 19:	DETAILNÍ ZOBRAZENÍ JEDNOTLIVÝCH KROKŮ ANALÝZY NA SKUTEČNÉ ČÁSTI VZORKU ....	28
OBR. 20:	SKUTEČNÝ SNÍMEK ZNÁZORŇUJÍCÍ OKRAJ SKLÍČKA .....	29
OBR. 21:	UKÁZKA HISTOGRAMU ZOBRAZUJÍCÍ INFORMACE O ÚROVNÍCH ŠEDI V OBRAZU .....	30
OBR. 22:	VÝSLEDEK PRAHOVÁNÍ PŘI NASTAVENÍ HLADINY PRAHU NA 100 .....	31
OBR. 23:	VÝSLEDEK PRAHOVÁNÍ PŘI NASTAVENÍ HLADINY PRAHU NA 70 .....	31
OBR. 24:	ANALÝZA PROVEDENÁ NA SKUTEČNÉ FOTOGRAFII S RŮZNÝM NASTAVENÍM PRAHU .....	32
OBR. 26:	ROZMĚRY KARTÁČE.....	35



---

## SEZNAM TABULEK

TAB. 1: VÝČET PRACHOVÝCH ČÁSTIC Z OBRÁZKU .....	18
TAB. 2: VÝPOČTOVÁ TABULKA .....	18
TAB. 3: VÝPOČET PROLOŽENÍ POMOCÍ METODY NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ .....	19
TAB. 4: ZJIŠTĚNÉ HODNOTY PROGRAMEM MATLAB .....	22
TAB. 5: POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ PŘI ODSTRAŇOVÁNÍ VAD.....	24
TAB. 6: POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ PŘI ODSTRAŇOVÁNÍ VAD.....	28
TAB. 7: POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ PŘI ODSTRAŇOVÁNÍ VAD.....	28
TAB. 8: TYPY KARTÁČŮ .....	35
TAB. 9: VÝSLEDNÉ NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY PRO 3 ETAPY MĚŘENÍ .....	37
TAB. 10: VÝSLEDNÉ NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY PRO 3 ETAPY MĚŘENÍ (KONTROLA).....	37

---

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$D_i$	průměr prachové částice
$N_i$	četnost výskytu prachových částic o průměru $D_i$
$V_i$	objem prachových zrn o počtu $N_i$ o průměru $D_i$
$V_\infty$	celkový objem prachových částic pro určitý provozní stav stroje za pomoci parametrů $a$ a $b$
${}^1V$	korigovaný objem
$a$	konstanta Weibullova rozdělení závislá na podmínkách provozu stroje
$b$	konstanta Weibullova rozdělení závislá na podmínkách provozu stroje
$i$	index 1, 2, ....6
$r$	poloměr částice v pixelech
area	plocha částice v pixelech

---

# 1 ÚVOD

Rozvoj měřících a diagnostických metod v řadě případů je podmíněn úrovní technického zázemí. V případě dlouhodobých zkoušek elektrických strojů s kluzným kontaktem byl tento postup v řadě případů opačný. S ohledem na dostupnou a kvalitní techniku se hledaly možnosti jejího praktického využití. Do jisté míry je to i případ praktického využití „Metody prachových částic“.

V průběhu dlouhodobých zkoušek elektrických strojů s kluzným kontaktem se při jeho běhu zachytávají opotřeбенé prachové částice na sklíčko. Použitím vhodného měřícího zařízení jako je např. mikroskop lze provádět indikaci prachových částic. Z provedeného záznamu pak lze provést kontrolní výpočet podle zpracované metodiky. Záznam se provádí ručně a to je velmi zdlouhavé a náročné.

Hlavním účelem tohoto textu je zpracovat postup pro zrychlení analýzy digitalizovaného obrazu vzorků nasnímaných mikroskopem Arsenal LPT 1513 – T.

První kapitola textu je věnována mikroskopu a jeho využití v technické praxi, jeho parametrům a je zpracován stručný návod pro práci s tímto zařízením. Na tuto stat' navazuje popis a objasnění metody prachových částic. V další části textu je pojednáno o způsobu zachytávání prachových částic a postup vyhodnocování naměřených vzorků.

V druhé části další kapitoly je ukázka aplikace metody prachových částic na vytvořený vzorek. Na tomto vzorku je aplikována počítačová analýza programem Matlab. Výsledky zjištěné počítačovou analýzou jsou porovnány s hodnotami zadanými ve vytvořeném vzorku. Porovnáním těchto výsledků je možné posoudit, zda bude možno programové analýzy využít i pro reálné vzorky.

Čtvrtá kapitola se zabývá zpřesňováním počítačové analýzy, jsou popsány vady, které vznikají při vytváření vzorku nebo chyby které vznikají při počítačové analýze.

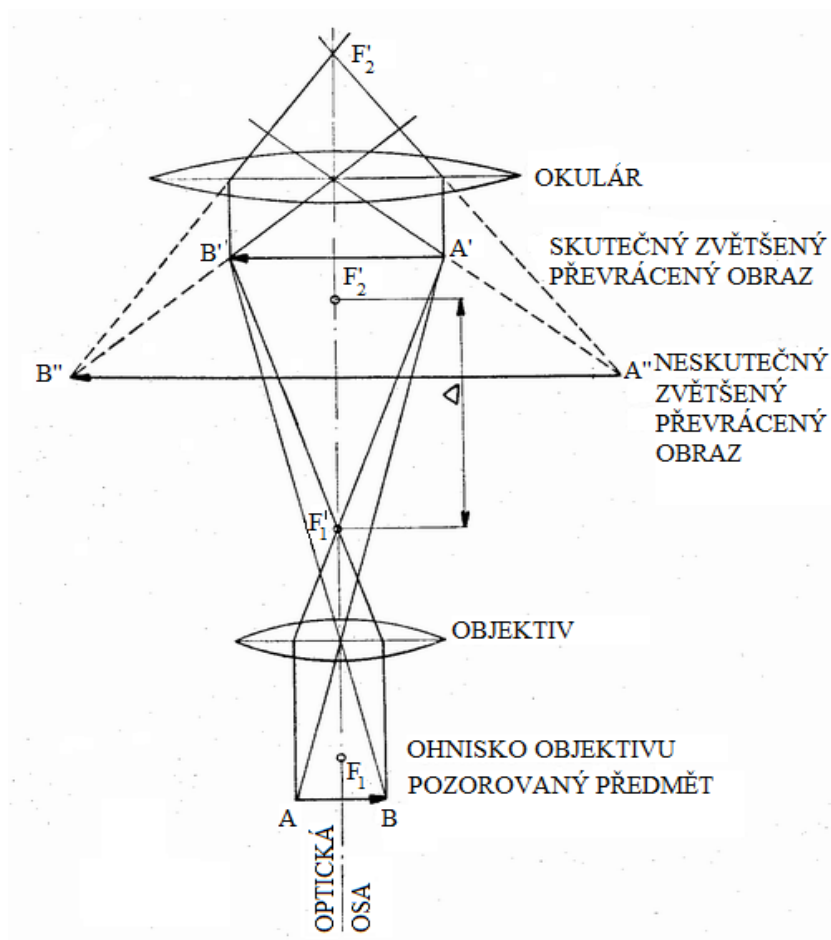
V páté a šesté kapitole je popsáno vyhodnocování naměřených vzorků ze tří etap, a to po 10, 15 a 20 minutách zachytávání. Z těchto vzorků, byly vypočteny dílčí objemy zachycených prachových částic a vypočten celkový objem prachových částic. V další části této kapitoly je aplikován přepočet na délku úbytku kartáče a jsou zaznamenány výsledky ze všech tří etap měření. Následuje porovnání zjištěných výsledků počítačovou analýzou s výsledky referenčními a jsou stanoveny chyby počítačové analýzy.

## 2 VYUŽITÍ MIKROSKOPU V TECHNICKÉ PRAXI

Mikroskop je zařízení, které je v technické praxi známo již několik století a má dlouhou tradici. Pro praktické využití v technické praxi se začal používat v dílčích případech. V technické praxi se začalo užívat např. ke zlepšování struktury materiálu, zlepšování technologií, zlepšování diagnostických metod a podobně. Jedna z možností využití mikroskopu vede ke zdokonalení diagnostických metod, které se využívají i ke studiu kluzného kontaktu. Tyto zkoušky jsou velice časově náročné a jsou taktéž velmi nákladné. Proto se snažíme dosáhnout snížení nákladů a doby trvání těchto diagnostik.[1]

Pro diagnostiku strojů s kluzným kontaktem byla pro usnadnění zkoušek vyvinuta metoda prachových částic. Při provozu elektrických strojů s kluzným kontaktem dochází k opotřebovávání sběracího ústrojí v podobě kartáčů. Opotřebované částice zachytáváme na sklíčko, kde dále pomocí mikroskopu zvětšíme vzorek natolik, aby bylo možné provést záznam částic. Z daného záznamu se potom podle níže popsané metodiky provede kontrolní výpočet, jehož výsledkem by měl být údaj o úbytku kartáče za určitou dobu.

V naší laboratoři byl pro zlepšení materiálového vybavení laboratoře mikroskop Arsenal LPT 1513 – T zakoupen. Tento mikroskop hodláme využít k posouzení špičkových technických řešení a technologií u strojů s kluzným kontaktem.



Obr. 1: Schéma optiky mikroskopu (převzato [1])

## 2.1 Technické možnosti mikroskopu ARSENAL 1513-T

### 2.1.1 Oblast použití

Mikroskop lze využít v průmyslu pro zlepšení různých oblastí, např. metalurgie, dále je možné jeho využití v elektronice, v chemickém průmyslu, ve výzkumu, v kontrolní a testovací oblasti, pro inovaci diagnostických metod. Tento fotomikroskop umožňuje pořizovat digitální fotografie, jejich archivaci pro další využití. Dovoluje tyto digitální fotografie pozorovat on-line, snímky dále upravovat za pomoci speciálního softwaru a provádět náročnější úpravu a analýzu obrazu, což výrazně urychluje a zefektivňuje naši práci.

Pomocí variability zobrazení lze pozorovat na mikroskopu ARSENAL průhledné i neprůhledné předměty v dopadajícím, procházejícím i polarizovaném světle. Díky důmyslnému systému clon a polarizačních filtrů lze dosáhnout perfektní ostrosti, jasu a kontrastu vzorků.

Pro nasnímaní vzorku je k mikroskopu připojena CCD kamera nebo digitální fotoaparát pomocí kterých lze uložit zkoumaný vzorek do počítače v bitmapovém formátu pro další zpracování.

### 2.1.2 Technické vlastnosti

Fotomikroskop ARSENAL LPT 1513-T-D je vybaven trinokulární hlavicí. Umožňuje zvětšení až v rozsahu 50 – 1200x. Dále je vybaven širokoúhlými okuláry, které mohou být vybaveny měřítkem. Pro správné nasvícení vzorku jsou k dispozici dva druhy osvětlení a to koaxiální s halogenovou žárovkou a Köhlerův osvětlovací systém. Regulátor na mikroskopu dovoluje plynulou regulaci intenzity osvětlení, jako další jsou na mikroskopu umístěny ovladače hrubého a jemného ostření. K dispozici je velké množství filtrů jako např. objektový mikrometr, filtr polarizační, modrý, žlutý, červený a ledovaný. Velikost pracovního stolku pro vzorky je 160x130 mm. Hmotnost mikroskopu je 9,7kg, tudíž je zařízení možno přesouvat.



Obr. 2: Ukázka měřicího zařízení (převzato z [7])

## 2.2 Příprava vzorku

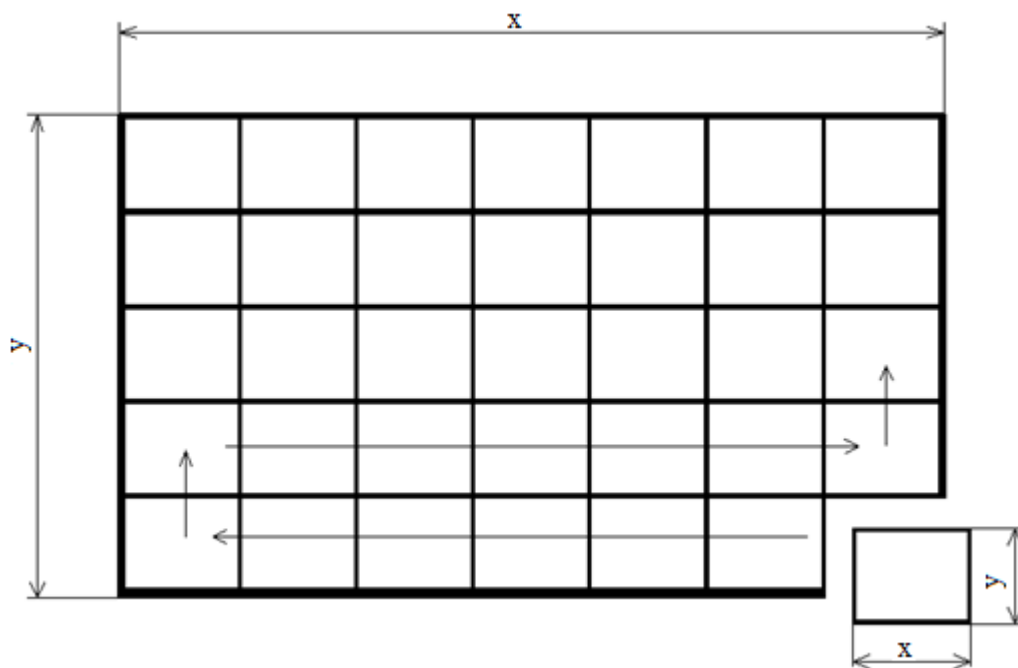
Vzorky se získávají zachytáváním prachových částic na sklíčko za běhu stroje. Tyto zkoušky mohou trvat v různých časových intervalech např. 10, 15, 20 min. Sklíčko je pro lepší přilnavost prachových částic pokryto pomocnou kapalinou (olej). Při zkoušce je nemožné dosáhnout 100% zachycení všech částic a to z důvodů omezení velikosti sklíčka, které musí odpovídat rozměrům měřicího ústrojí (mikroskop), tudíž při větším rozptýlu prachových částic nemusí být všechny zachyceny, dalším důvodem je odpaření malého procenta částic. Po skončení zachytávání existují dvě varianty:

- Je nutno přepravit vzorek do laboratoře s mikroskopem pro pokračování v měření. Pokud je nutná přeprava vzorku, dělá se opatření proti poškození či ztrátě dat, tím že se na sklíčko přiloží druhé sklíčko. V tomto případě dochází k tvorbě nežádoucích elementů, jako je nahromadění pomocné kapaliny k okrajům sklíčka. Další vznikající nepřesností je vytvoření šmouh a tzv. olejových map z důvodu nedokonalého povrchu sklíček.
- Není-li nutná přeprava vzorku, laboratoř je vybavena mikroskopem, není tedy nutné vzorek přikrývat a tím pádem nedochází ke vzniku nežádoucích elementů.

### 2.2.1 Záznam vzorku

Pro nasnímání vzorku je k mikroskopu připojena CCD kamera, pomocí které lze uložit zkoumaný vzorek do počítače v bitmapovém formátu pro další zpracování. K ukládání mikrofotografií slouží program MiniSee dodávaný výrobcem.

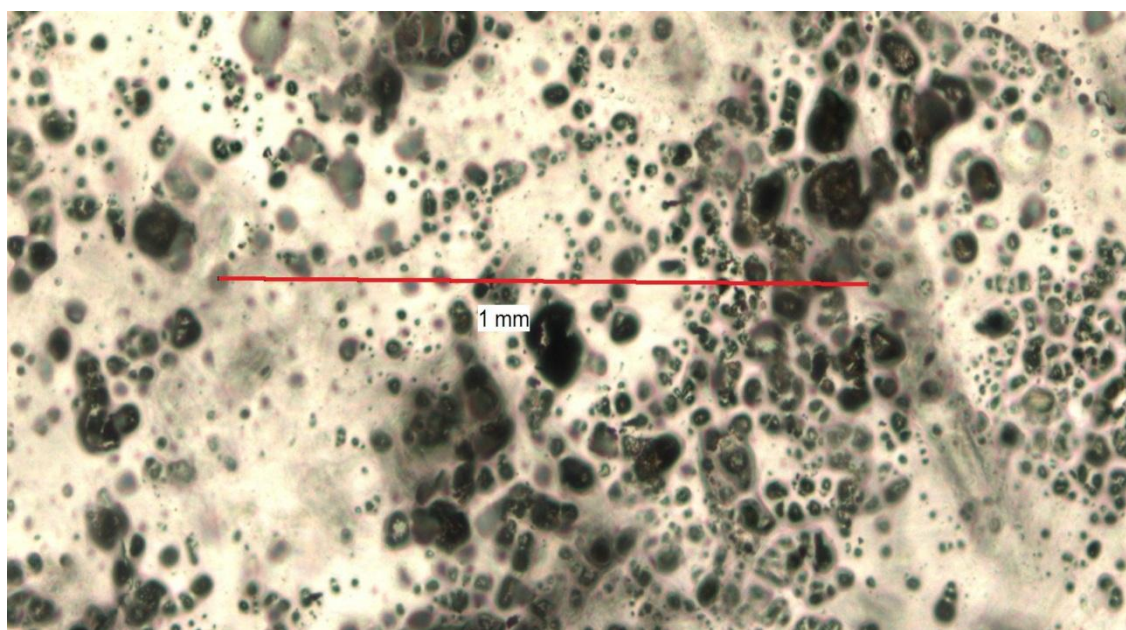
Předpokládejme rozměr sklíčka 22x22 mm. Sklíčko je umístěno na pracovní plochu mikroskopu. Následuje natavení požadovaného přiblížení, propojení PC s CCD kamerou pro záznam obrazu do bitmapového formátu pro další zpracování.



Obr. 3: Rozdělení sklíčka a směr postupu záznamu

Podle daného přiblížení lze nasnímat pouze část sklíčka v případě obr. 3 se jedná o velikost  $x \times y$  mm. Tím se nám sklíčko rozdělí na takový pomyslný rastr, jak lze vidět na obr. 3. Každá část obrázku je uložena do PC jako bitmapový obrázek RGB. Začíná se od dolního pravého rohu a pokračuje se směrem naznačeným na obr. 3. Výsledkem měření jsou dílčí fotografie o počtu, který odpovídá danému přiblížení. Podle velikosti na obr. 3 by výstupem bylo 35 fotografií. Před začátkem měření je nutno vytvořit měřítko, kvůli pozdějším výpočtům. Vyznačení měřítka lze vidět na obr. 4.

Určení měřítka je důležitý krok, velikost se následně musí přepočítat na délku pixelů, jelikož je třeba si uvědomit, že jednotkou rozměru objektu v obraze je násobek velikosti obrazového bodu (pixelu). Pro přepočet do skutečných fyzických proporcí musíme znát, jakou délku jeden obrazový bod ve scéně představuje. K tomu slouží měřítko. Měřítkem může být jakýkoli objekt v obraze, jehož rozměr je předem známý.



Obr. 4: Určení měřítka v získaných snímcích

Fyzický rozměr objektu získáme podle rovnice

$$l_r = \frac{r}{p} l_p \quad (1)$$

kde  $l_r[mm]$  je skutečný rozměr objektu,  $r[mm]$  skutečný rozměr měřítka,  $p[px]$  rozměr měřítka v obrazových bodech,  $l_p[px]$  rozměr objektu v obrazových bodech.

### 2.3 Pracovní postup pro práci s mikroskopem

Přístroj je určen pro práci v prostředí bez zvýšeného elektrického nebezpečí. Podmínkami vytvářející zvýšené nebezpečí, jsou zejména zvýšená vlhkost a prašnost ovzduší, vodivé podlahy, teplota přes  $40^\circ\text{C}$ . Je určen pro použití ve vnitřním laboratorním prostředí s teplotou vzduchu od  $+5^\circ\text{C}$  do  $+35^\circ\text{C}$ . Relativní vlhkost vzduchu by neměla přesahovat 75% při  $20^\circ\text{C}$ . Pokud je přístroj přenášen z chladu do tepla, je možné jej použít až po uplynutí šesti hodin.



Příprava přístroje k práci:

- 1) Zapnout lampu, vypínač je umístěn dole na pravé straně stativu.
- 2) Zatlačit páčku pro volbu polohy fotografování dovnitř třetího tubusu, abyste připravili mikroskop pro pozorování.
- 3) Položí na stolek kousek bílého papíru. Dokud na revolverové hlavici nejsou objektivy, povolte fixační šroub osvětlovače a otočte žárovkou tak, aby se osvětlovací vlákno zobrazilo na papíru, Znovu utáhněte fixační šroub. Nastavte páčku kolektoru tak, aby byl obraz vlákna jasný.
- 4) Připravte objektiv 10x a okuláry 10x pro pozorování. Otočte knoflíkem pro hrubé a jemné ostření tak, aby byl obraz clony jasný. Otáčejte páčkou polní clony a zmenšete obraz clony, poté pomocí centrovacích šroubů nastavte polní clonu tak, aby se dostala do optické osy. Znovu otáčejte páčkou clony a rozšiřte její obraz, aby byl větší než obraz v okuláru.
- 5) Tento mikroskop je vybaven jednoduchým polarizačním zařízením. Zatlačte páčku polarizačního analyzátoru, aby se analyzátor dostal do optické cesty. Pro pozorování v dopadajícím světle vložte polarizátor do bajonetu na osvětlovači. Otáčejte polarizátorem, až se kmitání světelných vln dostane do kolmé pozice a pozorujte jas v poli. Potom můžete položit na stolek preparát a pozorovat jej v polarizovaném světle. Při pozorování v procházejícím světle umístěte polarizátor na polní clonu. Ostatní kroky jsou stejné jako pro pozorování v dopadajícím světle.
- 6) Digitální kameru CMOS 4 – C našroubujete na C-Mount závit CCD adaptéru, pokud je třeba, použijte mezikroužek. Připojte jeden konec USB kabelu na menší koncovku do digitální kamery, druhý do USB portu vašeho PC.

Názorná ukázka výstupního obrazu zkoumaného vzorku získaného z CCD kamery:



Obr. 5: Zachycené prachové částice na sklíčku (převzato [6]).

Legenda: 1 – prachová částice

2 – olej

Na obr. 5 jsou jasně vidět zachycené prachové částice 1), podklad tvoří již zmiňovaný olej 2).



### 2.3.1 Využití programového vybavení k zpracování obrazu

Většina dodávaných programů podporuje zpracování obrazů všech běžných formátů, popř. jejich vzájemné konverze. Za standardní funkce lze označit úpravy jasu, kontrastu a intenzity barev, převod barevného obrazu na šedý a dále funkci označovanou jako prahování (threshold) na binární obraz.

Jako běžné vybavení je možné jmenovat i velký počet různých filtrů, detekci hran, vyznačení oblasti zájmu (Region of Interest – ROI) a úpravy jejích vlastností, popř. tvaru. Specializovanější programy umožňují vykonávat analýzu částic podle různých kritérií, Fourierovu transformaci a statistickou analýzu, měřit objekty, vyhledávat objekty podle vzoru, analyzovat a transformovat barvy, aritmeticky a logicky kombinovat obrazy atd.

## 3 METODA PRACHOVÝCH ČÁSTIC

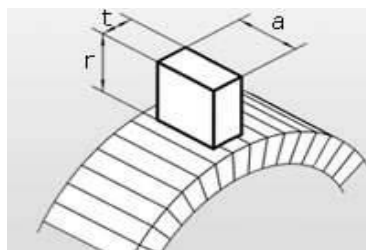
### 3.1 Stávající metoda

Stávající metoda pro zjištění četnosti prachových částic využívá ruční počítání a přeměřování podle pravítka, kdy na vytištěném obrázku pomocí pravítka přeměřujeme jednu částici za druhou a zapisujeme do tabulky. Tento způsob je méně vhodný při velké četnosti velmi malých částic, také velice časově náročný při počtu dílčích vzorků, při velkém výskytu prachových částic může dojít při řazení do tabulek k vynechávání. Proto se pokusíme podle vybraného programového vybavení postup automatizovat a zjednodušit.

Aplikaci metody prachových částic uvedu na příkladu. Pro tento příklad jsem vytvořil obrázek demonstrující nasnímaný vzorek s 20 částicemi, které mají pevně zadány hodnoty, jež jsou uvedeny v tabulce č. 1. Na tomto obrázku provedu obrazovou analýzu pomocí programu MATLAB, kde využiji převodu obrazu na binární obraz pomocí funkce prahování. Dále využiji funkce pro zjištění četnosti objektů v obraze a pomocí dalších funkcí zjistím plochu a poloměr částic v pixelech. Tyto hodnoty budou exportovány do programu Microsoft Excel, kde budou porovnány hodnoty naměřené s hodnotami zadanými pro zjištění přesnosti analýzy. Obraz sestává pouze z částic a podkladu, neobsahují žádné jiné nepřesnosti jako šmouhy, bubliny vzniklé přiložením sklíčka.

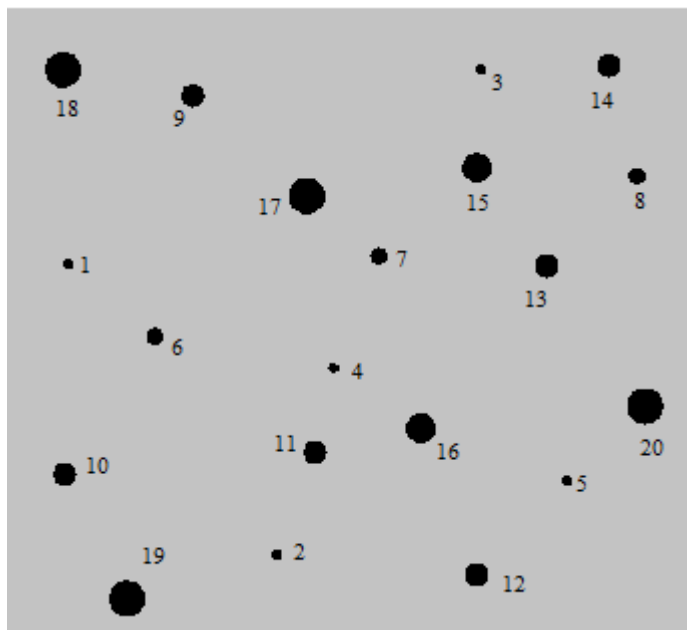
### 3.2 Zpracování demonstračního vzorku stávající metodou

Na demonstračním vzorku z obr. 6 bude dále objasněna problematika přepočtu analyzovaných částic na objem a na celkový objem podle zpracované metodiky. Tuto informaci se dále pokusíme přepočítat na množství objemu náhodně vybraného kartáče. Ze známosti rozměrů kartáče a zjištěného objemu částic můžeme následně vypočítat velikost úbytku kartáče během dlouhodobé zkoušky. Rozměry kartáče jsou znázorněny na obr. 6.



Obr. 6: Značení rozměrů kartáče (převzato [11])

### 3.2.1 Demonstrační obrázek



Obr. 7: Praktické znázornění prachových částic na sklíčku

Di (mm)	1	1,5	2	2,5	3
Ni	5	3	6	2	4
částice	1 - 5	6 - 8	9 - 14	15 - 16	17 - 20

Tab. 1: Výčet prachových částic z obrázku

### 3.2.2 Zpracování výpočtu

Z provedeného záznamu teď lze provést kontrolní výpočet podle zpracované metodiky. V tabulce č. 1 jsou uvedené požadované a zjištěné hodnoty. V dalším textu je proveden kontrolní výpočet, sloužící k objasnění metody prachových částic, který je ukázán na tomto jednoduchém příkladu.

Di (mm)	1	1,5	2	2,5	3
Ni	5	3	6	2	4
$V_i$ (mm <sup>3</sup> )	2,6	5,3	25,1	16,4	56,5
$\Sigma V_i$ (mm <sup>3</sup> )	$\Sigma N_i$				
105,9	20				

Tab. 2: Výpočtová tabulka

Výpočet objemu jednotlivých prachových částic  $V_i$ , jejich  $\Sigma V_i$ .

Příklad výpočtu pro první sloupeček tab. 2:

$$V_i = N_i \cdot \frac{\pi}{6} \cdot (D_i)^3 = N_i \cdot \frac{\pi}{6} \cdot (D_1)^3 = 5 \cdot \frac{\pi}{6} \cdot (1)^3 = 2,6 \text{ mm}^3$$

Výpočet  $\Sigma V_i$ :

$$\Sigma V_i = \Sigma (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5) = \Sigma (2,6 + 5,3 + 25,1 + 16,4 + 56,5) = 105,9 \text{ mm}^3$$

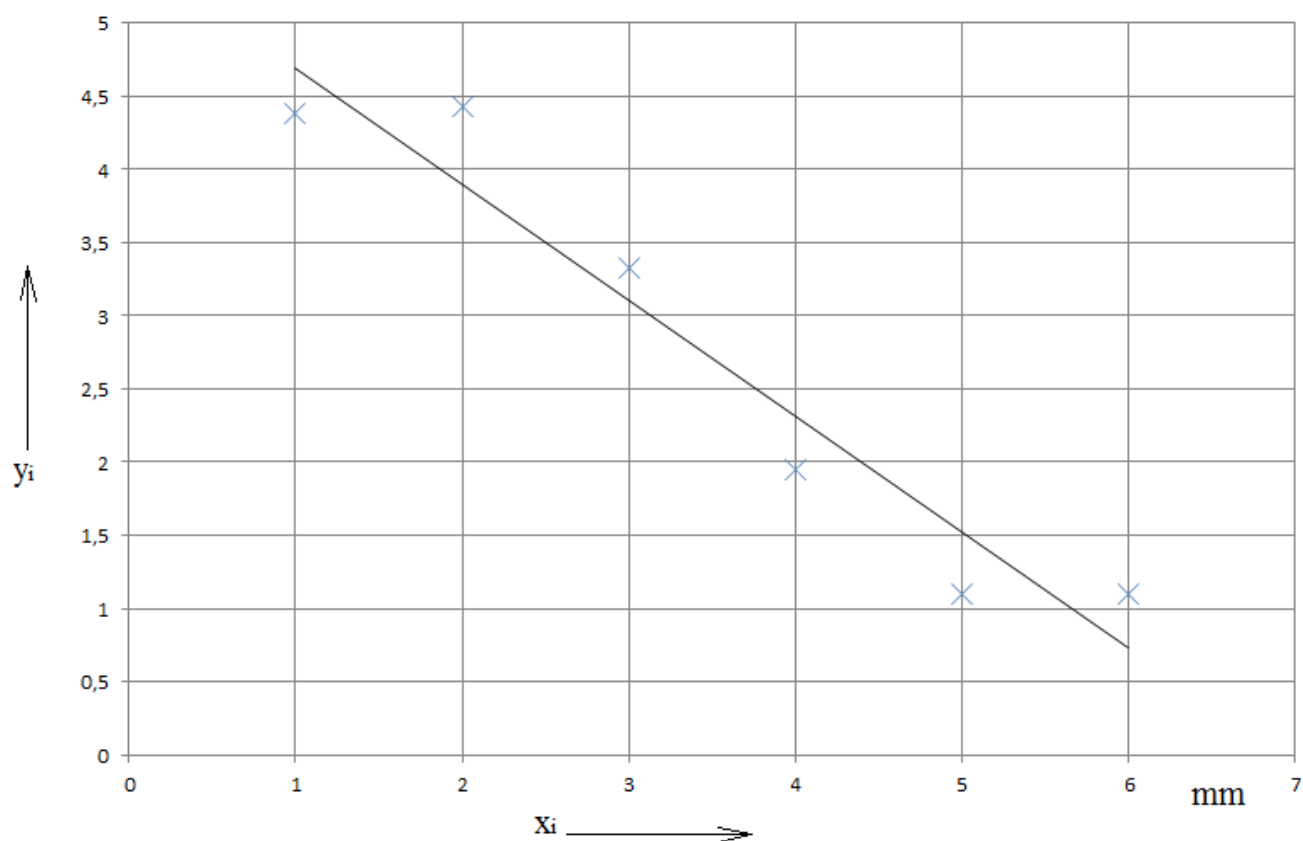
Pro zpracování závislosti četnosti částic do grafu v podobě  $\ln N_i = f(D_i)$  a jeho proložení přímkou (aplikaci metody nejmenších čtverců) lze získat následující údaje:

počet uzlů	$i$	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i y_i$
celkem 5	1	1	1,61	1	1,61
	2	1,5	1,1	2,25	1,65
	3	2	1,79	9	3,58
	4	2,5	0,69	6,25	1,725
	5	3	1,39	25	4,17
	$\Sigma$	10	6,58	43,5	12,735

Tab. 3: Výpočet proložení pomocí metody nejmenších čtverců

Hledaná přímka regrese má rovnici regrese:

$$y = 1,656 - 0,17x, \text{ kde } x \equiv Di \text{ a } y \equiv \ln N_i$$



Obr. 8: Závislost četnosti částic proložená přímkou

### 3.2.3 Přepočet zjištěného objemu na velikost opotřebení kartáče

Kartáče existují v různých provedeních, pro jednoduchost výpočtu budeme uvažovat tvar kvádra. Pro tento přepočet byl vybrán kartáč s označením E 49, značení je uvedeno podle obr. 6 a jeho rozměry jsou:  $a = 40 \text{ mm}$ ;  $t = 16 \text{ mm}$ ;  $r = 50 \text{ mm}$

---


$$\text{Objem kartáče je tedy: } V = a \cdot t \cdot r = 40 \cdot 16 \cdot 50 = 32000 \text{ mm}^3 \quad (2)$$

$$\text{Celkový objem částic je stanoven na: } \sum V_i = 105,9 \text{ mm}^3 \quad (3)$$

$$\text{Délka úbytku kartáče je: } r = \frac{\sum V_i}{a \cdot t} = \frac{105,6}{40 \cdot 16} = 0,165 \text{ mm} \quad (4)$$

Ze zjištěných a známých hodnot je tedy určena délka úbytku kartáče  $\Delta h = 0,165 \text{ mm}$  a to za dobu trvání zkoušky.

### 3.3 Test vzorku pomocí obrazové analýzy v programu MATLAB

#### 3.3.1 MATLAB

MATLAB je zkratka pro "Maticovou laboratoř" je to numerické výpočetní prostředí a programovací jazyk, vyvinutý MathWorks. Použitím programu MATLAB, můžeme řešit technické výpočty a problémy rychleji než pomocí tradičních programovacích jazyků, jako jsou C, C++.

Jedná se o využití zpracování digitálního obrazu pro sčítání rozlišitelných objektů v obraze, v našem případě jde o výčet prachových částic a další zpracování jejich parametrů, jako zjištění rozměrů částic, jejich tvaru atd.

Digitální obraz se obecně skládá z množiny obrazových elementů (pixelů), uspořádaných do obdélníkové matice velikosti, kde  $m$  značí počet řádků a  $n$  počet sloupců. Hodnota každého elementu  $m \times n$  odpovídá jasu obrazu v daném místě.

Existují různé typy digitálního obrazu, které se liší množstvím zachycených informací a způsobem jejich ukládání. MATLAB podporuje práci nad čtyřmi typy obrazových dat. Jde o binární, šedotónový, indexovaný a RGB obraz.

Dále se budeme zabývat prací s RGB obrazy jako výstupy z mikroskopu a jejich následnou úpravou na šedotónový a binární obraz.

- **Binární obraz** je představován jednou maticí  $n \times m$ . Každý prvek této matice (pixel) nabývá logických hodnot 0 pro černou nebo 1 pro bílou barvu.
- **Šedotónový obraz** nebo také monochromatický obraz je podobně jako obraz binární reprezentován maticí o rozměru  $m \times n$  přičemž k zápisu hodnoty pixelu zpravidla využíváme osmibitové celé číslo bez znaménka (unit8) v rozsahu 0 – 255, pro každou z 256 jasových úrovní.

#### 3.3.2 Zjištění počtu částic v obraze

Nejprve je nutno obrazy, které mají být analyzovány a zpracovávány nahrát do pracovního adresáře programu MATLAB. Dále je potřeba nahrát obraz do pracovního prostředí, toto je zajištěno funkcí `imread`. Dále je proveden převod obrazu do stupňů šedi pomocí příkazu `rgb2gray()`. V následujícím kroku je třeba provést prahování, což zajišťuje příkaz `img2 = im2bw (img1, graythresh (img1))`; v dalším kroku pomocí příkazu `bwboundaries` provedeme označení objektů, jež po prahování zůstaly v obraze a označíme je zelenou čarou. Dále je použito jednoduchého cyklu `for`, který zajišťuje výčet všech zjištěných prvků v obraze. Výsledná hodnota je zapsána do proměnné `k`. Následuje celý skript, který zajišťuje výčet prvků v obraze.

```

img1 = imread ('*.jpg');      %načtení obrázku
img1=rgb2gray(img1);          %převod do odstínů šedi
img2=im2bw(img1,graythresh(img1)); %převod na binární obraz

B=bwboundaries(img2);

text(10,10, strcat('\color{green}ObjectsFound:', num2str(length(B))))
hold on

for k=1:length(B)
boundary=B{k};
plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'g', 'LineWidth', 0.2)
end

```

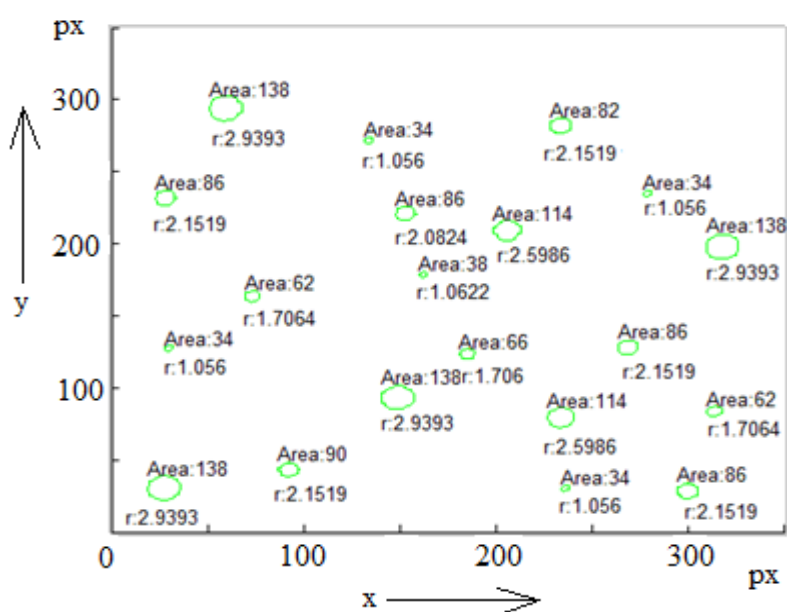
### 3.3.3 Zjištění parametrů částic v obraze

Pro zjištění parametrů částic je aktualizován předešlý cyklus, jež zajišťuje výčet částic, o funkci pro výpočet plochy částice. Ne všechny částice jsou kruhy, proto je pomocí aproximace zjištěn poloměr. Obecně touto metodou lze spočítat jakýkoliv tvar částic např. trojúhelník, čtyřúhelník. V mém případě jsem uvažoval tvar kruhu. Zjištěné hodnoty jsou zaznamenány do zkoumaného obrazu znázorněného na obr. 9.

```

for k = 2:length(B)
boundary = B{k};
plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'g', 'LineWidth', 0.2)
text(boundary(1,2), max(boundary(:,1)) + 5, strcat('Area:
', num2str(bwarea(boundary))))
text(boundary(1,2), min(boundary(:,1)) - 10, strcat('r:
', num2str(sqrt(bwarea(boundary))/pi)))
end

```



Obr. 9: Zjištěné parametry testovacího vzorku

Plocha je v obrazu označená jako *Area*. Poloměr je označen *r*. Zjištěné hodnoty jsou zapsány do tabulky č. 4. Částice jsou seřazeny podle původního obrázku č. 7.

Objekt	Poloměr [mm]	Poloměr zjištěný analýzou [mm]	Chyba [%]
1	1,0	1,056	-5,30
2	1,0	1,056	-5,30
3	1,0	1,056	-5,30
4	1,0	1,0622	-5,86
5	1,0	1,056	-5,30
6	1,5	1,7064	-12,10
7	1,5	1,706	-12,08
8	1,5	1,7064	-12,10
9	2,0	2,1519	-7,06
10	2,0	2,1519	-7,06
11	2,0	2,1519	-7,06
12	2,0	2,0824	-3,96
13	2,0	2,1519	-7,06
14	2,0	2,1519	-7,06
15	2,5	2,5986	-3,79
16	2,5	2,5986	-3,79
17	3,0	2,9393	2,07
18	3,0	2,9393	2,07
19	3,0	2,9393	2,07
20	3,0	2,9393	2,07

Tab. 4: Zjištěné hodnoty programem MATLAB

### 3.3.4 Výsledky zjištěné programem MATLAB

Použitím napsaného skriptu na testovací obraz byl stanoven počet objektů v obraze na hodnotu 20, což odpovídá správné hodnotě.

Výsledky stanovené programem MATLAB jsou porovnány se zadanými rozměry. Z těchto výsledků je zjištěna chyba uvedená v tab. 4.

Chyba provedené analýzy dosahuje přibližně 5,09 %. Největší chyby lze pozorovat u nejmenších prachových částic. Tato chyba je pravděpodobně způsobena při funkci `threshold()`, kdy dochází ke změně barev pomocí prahové intenzity, kde může dojít ke špatnému vyhodnocení okrajů částic, tím dochází k jejich možnému zmenšení či narušení původního tvaru a ne všechny částice jsou kruhy, proto je nutné provést aproximaci na kruh pro zjištění velikosti částice.

## 4 VADY VZORKŮ A MOŽNOSTI JEJICH ODSTRANĚNÍ

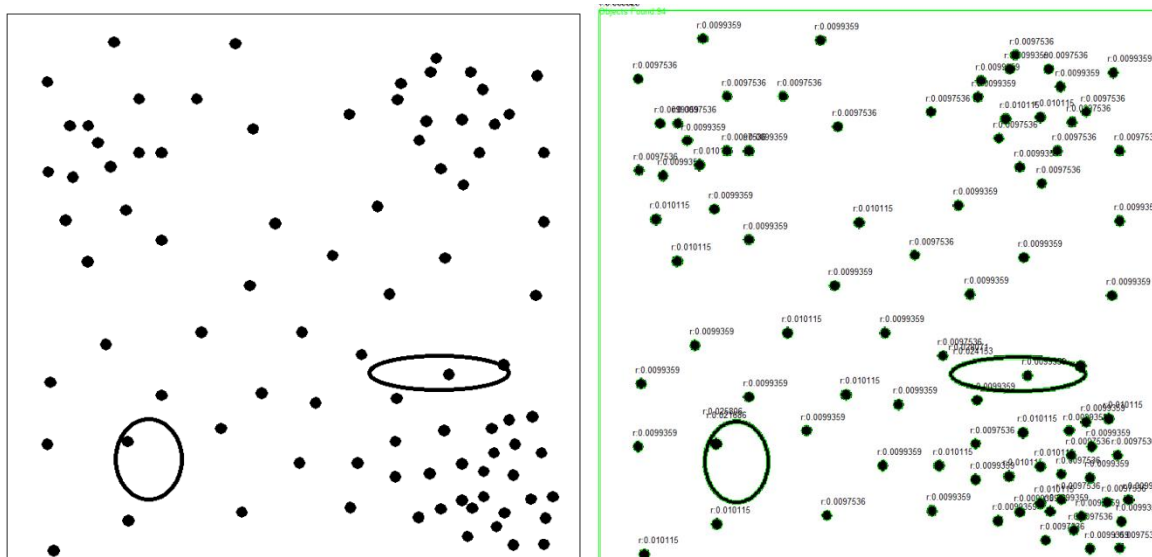
Analýza provedená na jednoduchém demonstračním obrázku slouží pouze pro objasnění metody prachových částic a objasnění postupu zpracování dat. Na reálném vzorku totiž existuje i spousta vad a kazů, jež ztěžují provedení analýzy.

Nejčastěji se na sklíčku vyskytují vady typu tmavších oblastí, které by se daly nazvat jako „šmouhy“. Další, často se vyskytující vadou jsou oblasti ohraničené silnou černou stěnou, které tvoří bubliny. Další problém se vytváří při přiložení sklíčka, kdy dochází k nahromadění pomocné kapaliny k okrajům sklíčka.

### 4.1 Přehled vad vyskytujících se na vzorcích

#### 4.1.1 1.typ vady tzv. bubliny

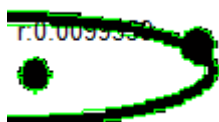
Pro ukázkou toho problému jsem opět vytvořil demonstrační obrázek, jenž objasní podstatu vzniklé vady. Základní obraz 10 a) obsahuje 92 částic o zadaném průměru 1 mm a dvě bubliny.



Obr. 10: Vytvořený snímek znázorňující typ vznikající vady

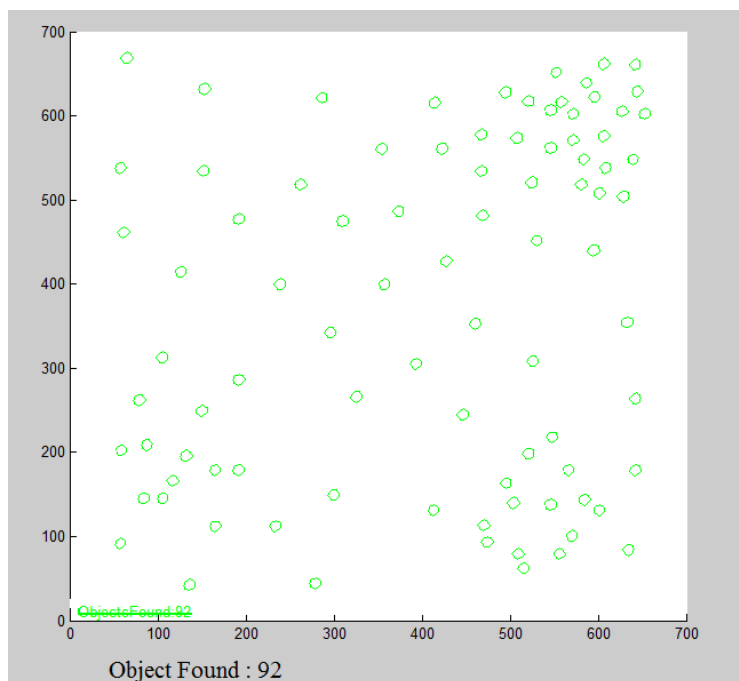
Na obr. 10 a) jsou vytvořeny dvě bubliny a na obr. 10 b) je aplikován výpočet vytvořeným skriptem. Vznikají tu dva problémy:

- 1) Dochází k označení jak vnějšího obvodu, tak vnitřního obvodu bubliny. Tento problém lze řešit doplněním skriptu o vyloučení objektů větších než uvažovaná maximální velikost částice.
- 2) Pokud hranice bubliny prochází přes částici, dojde při výpočtu ke sloučení těchto objektů a částice je tedy vynechána, potažmo přidělena k bublině, jak lze vidět na obr. 10.



Obr. 11: Detail vzniklé vady z obr. 10 b)

Po aplikaci výpočetního algoritmu s nastaveným prahem a omezením velikosti částic získáme výsledek jako na obr. 12. Na tomto obrázku je vidět že dojde k úplnému odstranění vad a tudíž k výpočtu požadovaného rozložení prachových částic.



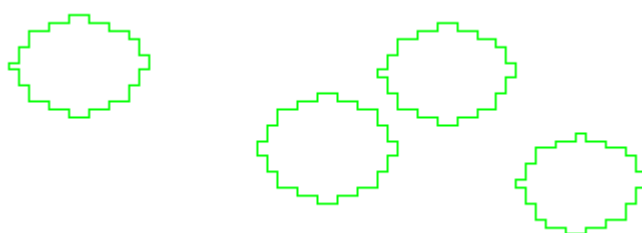
Obr. 12: Výsledný obraz po aplikaci prahu a omezení částic

Po exportu dat do programu Microsoft Excel, můžeme porovnat získané výsledky programem MATLAB s výsledky zadanými v testovacím obrazu, výsledky jsou zaznamenány v tabulce č. 5.

Zvolený počet částic	Průměr částice [mm]	Celkový objem [mm <sup>3</sup> ]	Zjištěný počet částic	Zjištěný objem [mm <sup>3</sup> ]	Chyba [%]
92	1	48,1466	92	48,8114	1,38

Tab. 5: Porovnání získaných výsledků při odstraňování vad

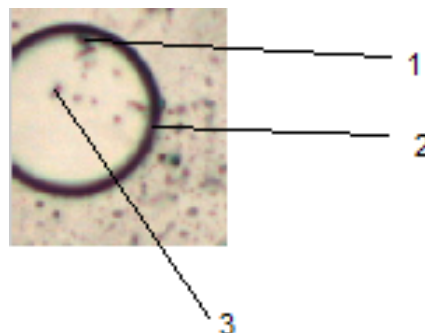
Jak lze vidět zjištěný počet prachových částic odpovídá zadanému počtu v testovaném obrazu. Vady v obraze jsou úspěšně odstraněny. Za vzniklou chybu v konečném součtu objemu může malá deformace prachových částic a to z důvodu nepřesného vyhodnocení jejich okrajů, jelikož se pohybujeme v pixelové grafice, kde jsme omezeni nejmenším rozměrem a to je 1px. Vzniklá chyba je vidět na obr. 13. Další část chyby je způsobena použitím aproximace pro výpočet poloměru.



Obr. 13: Detail ohrazení částice



Ukázka na reálném vzorku:



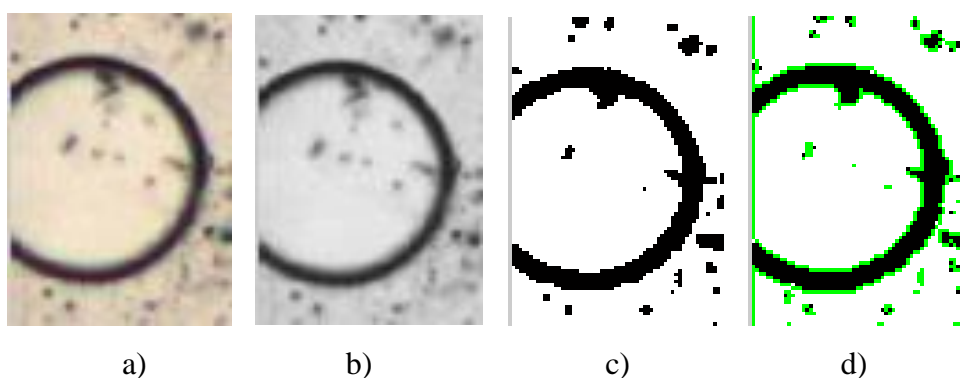
Obr. 14: Detail reálného problému ze vzorku

Legenda: 1) Částice spojená s okrajem bubliny

2) Okraj bubliny

3) Samostatná částice

Na tuto část vybraného vzorku proběhla aplikace výpočtového skriptu. Průběh analýzy je podrobně zaznamenám v každém kroku na obr. 15.



Obr. 15: Ukázka průběhu analýzy po jednotlivých krocích na detailu vady

Legenda: a) Reálný snímek z mikroskopu

b) Ukázka snímku po převodu do odstínů šedi

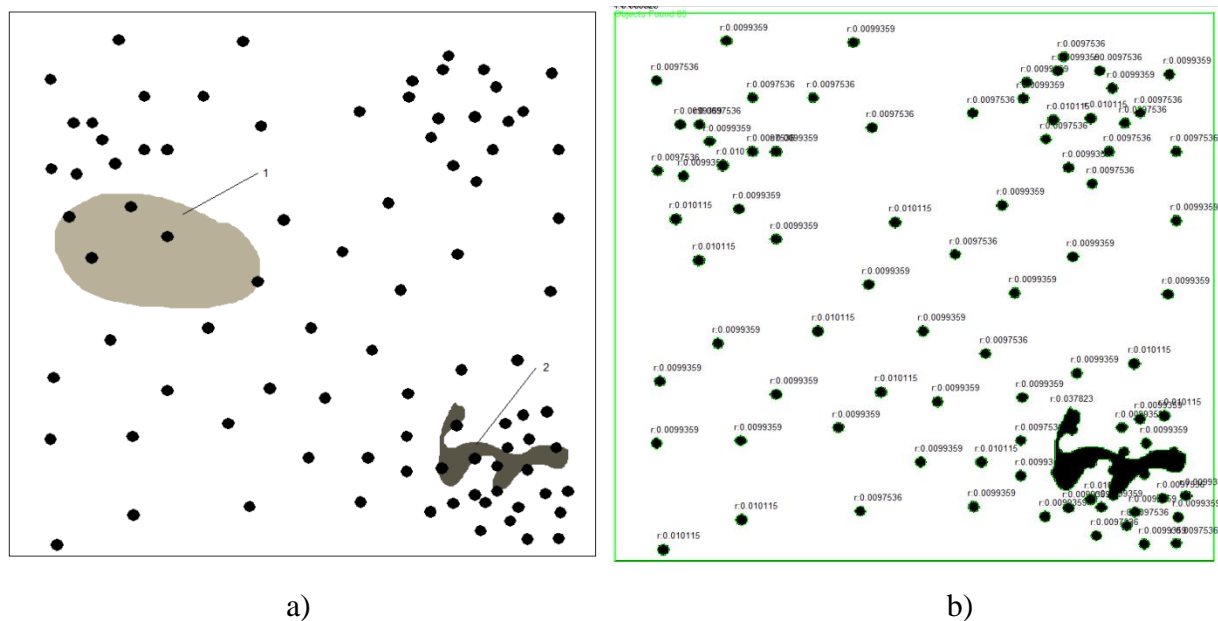
c) Snímek po aplikaci funkce `threshold` (prahování)

d) Snímek po vyznačení nalezených objektů

Jak lze vidět tak při převodu snímku vzorku do odstínů šedi nedochází k žádné chybě. Naopak je tomu při aplikaci funkce `threshold` (prahování), kdy dojde k úpravě jasové a barevné složky pixelu, dochází zde k nepřesnému vyhodnocení okrajů. Na tomto příkladu to mělo za následek spojení částice s hranicí bubliny. Hrany tedy můžeme najít na hranici objektů (částice, bublina) nebo na rozhraní světla a stínu. Čáry v obrazu pak generují dvě hrany, jednu na každé své straně. Tyto hrany bývají zašuměny. Při detekci hran prahováním rozhoduje o kvalitě vyhodnocení detektor, příliš nízká hodnota označí za hrany i šum, příliš vysoká zase nevyhodnotí některé podstatné hrany. Jako řešení tohoto problému lze použít tzv. prahování s hysterezí. Pro toto prahování se nastaví dva prahy. Nejdříve se najdou pixely výrazných hran pomocí vysokého prahu a od těchto hran se pokračuje v označování takových pixelů, v nichž odezva hranového detektoru je vyšší než nízký práh. Pomocí tohoto nastavení lze omezit šum a zajistit souvislost hran.

### 4.1.2 2.typ vady tzv. šmouhy

Pro ukázkou toho problému je opět vytvořen demonstrační obrázek, jenž objasní podstatu tento typ vady.

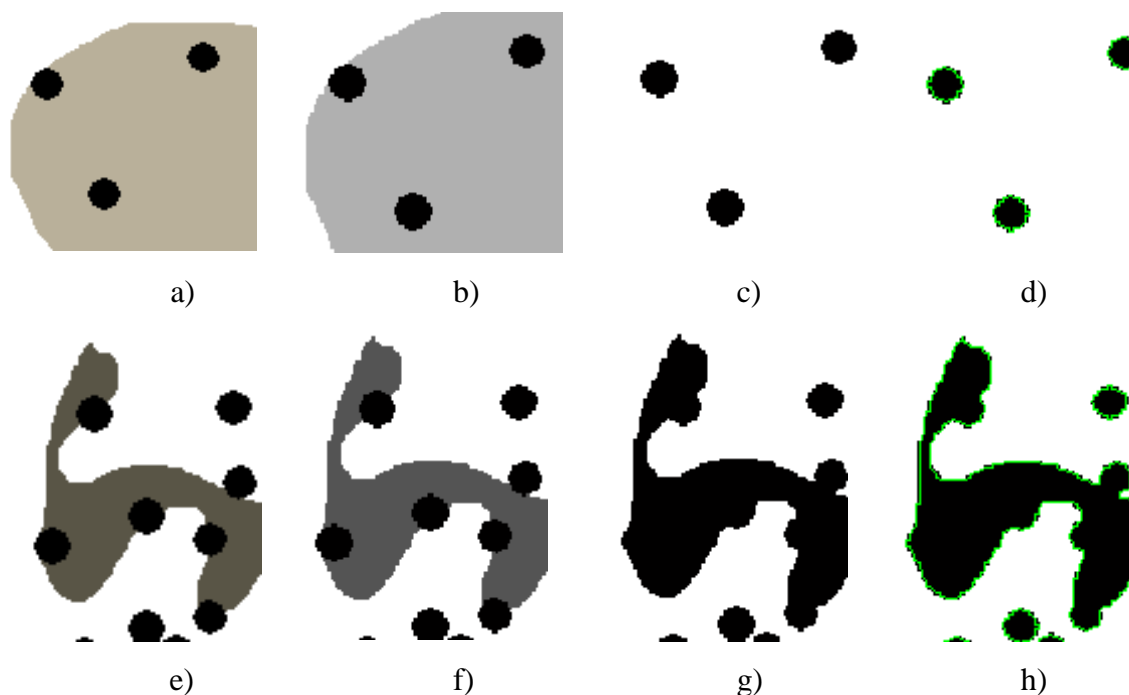


Obr. 16: Vytvořený snímek znázorňující typ vady označené jako šmouha

Legenda: a) Demonstrační obrázek s dvěma šmouhami

b) Výsledek provedené analýzy

Byly vytvořeny dvě čmouhy, z nichž šmouha 1 má světlejší barvu a šmouha 2 barvu tmavší. Vznikající problém uvedu na detailní ukázce.

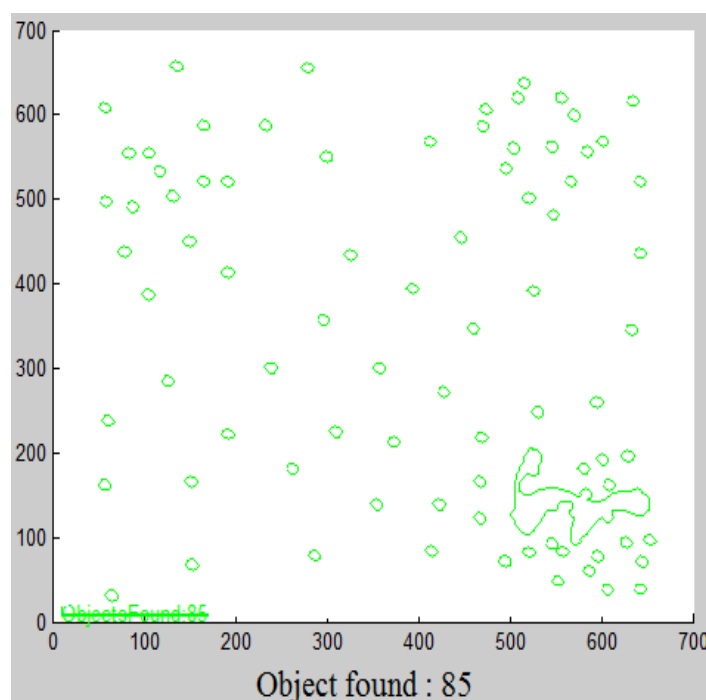


Obr. 17: Detailní zobrazení jednotlivých kroků analýzy

- Legenda:
- a) Detail světlejší šmouhy,
  - b) Převod do odstínu šedi,
  - c) Aplikace prahování,
  - d) Aplikace výpočtu pro zjištění počtu objektů,
  - e) Detail světlejší čmouhy,
  - f) Převod do odstínů šedi,
  - g) Aplikace prahování,
  - h) Aplikace výpočtu pro zjištění počtu objektů,

Z obr. 17: je patrné, že podle světlosti šmouhy je při převodu do odstínů šedi je jí přidělena světlejší nebo tmavší barva. Světlejší barva čmouhy při prahování je ignorována nedosahuje nastaveného prahu při detekci, tudíž je nevyhodnocena. Naopak pokud šmouha dosahuje větší tmavosti je detektorem vyhodnocena. Dále dochází k problému překrytí všech částic šmouhou, jak lze vidět na obr. 17: g). Všechny částice v oblasti této šmouhy nejsou detekovány, částice dotýkající se šmouhy jsou vyhodnoceny jako součást šmouhy. Při aplikaci výpočtového skriptu dojde k označení celé plochy šmouhy. Při detekci šmouh prahováním rozhoduje o kvalitě vyhodnocení detektor. Pro zamezení detekce tmavších šmouh je potřeba detektor nastavit na vyšší hodnotu prahu.

Po aplikaci výpočetního algoritmu na demonstrační obrázek č. 16 a) s automaticky nastaveným prahem bez použití histogramu získáme výsledek, jenž je uveden na obr. 18. Na tomto obrázku je vidět že dojde pouze k odstranění světlejší šmouhy. V tabulce č. 6 jsou uvedeny výsledky této analýzy. Prachových částic je v původním obraze 92. Po vyhodnocení bylo nalezeno 85 objektů. Jak lze vidět na obrázku dojde při prahování ke sloučení všech dotýkajících se objektů a částic uvnitř šmouhy. Tato chyba nejvíce ovlivňuje následný přepočet na celkový objem.



Obr. 18: Výsledný obraz po aplikaci výpočetního algoritmu

Zvolený počet částic	Průměr částice [mm]	Celkový objem [mm <sup>3</sup> ]	Zjištěný počet částic	Zjištěný objem [mm <sup>3</sup> ]	Chyba [%]
92	1	48,14667	85	51,6361	7,25

Tab. 6: Porovnání získaných výsledků při odstraňování vad

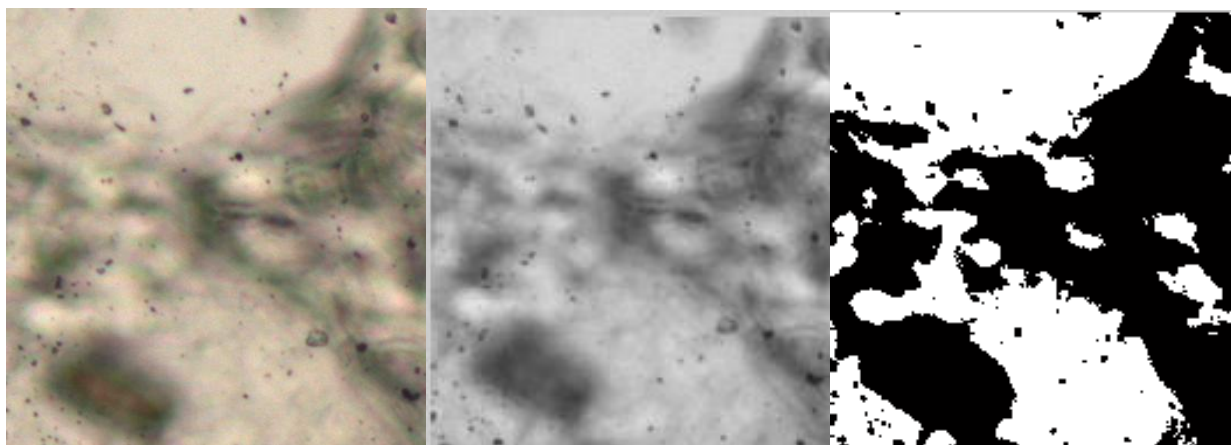
Jak lze vidět zjištěný počet prachových částic neodpovídá počtu částic v testovaném obraze. Vady v obraze nejsou odstraněny. Neodstraněná šmouha z analyzovaného obrazu výrazně ovlivňuje výsledky měření. Vzniklá chyba v konečném součtu objemu je tvořena převážně započítáním celé šmouhy, malou část chyby zde reprezentuje nepřesné vyhodnocení okrajů prachových částic a použitá aproximace.

Použitím histogramu, jehož funkce je popsána v kapitole 4.1.2., a aplikováním získaných informací z této pomůcky můžeme zmiňovanou šmouhu odstranit, rozšíříme-li tedy výpočetní skript o tyto funkce (zobrazení histogramu, nastavení úrovně prahu), získáme totožný obraz jako na obr. 10. Informace získané analýzou a přepočtením získaných dat získáme výsledky, jež jsou uvedeny v tabulce č. 6. Z výsledků uvedených v tabulce č. 7. lze vidět, že šmouha byla odstraněna a nedošlo ke ztrátě ostatních dat.

Zvolený počet částic	Průměr částice [mm]	Celkový objem [mm <sup>3</sup> ]	Zjištěný počet částic	Zjištěný objem [mm <sup>3</sup> ]	Chyba [%]
92	1	48,14667	92	48,8307	1,42

Tab. 7: Porovnání získaných výsledků při odstraňování vad

Ukázka na reálném vzorku:



a) b) c)

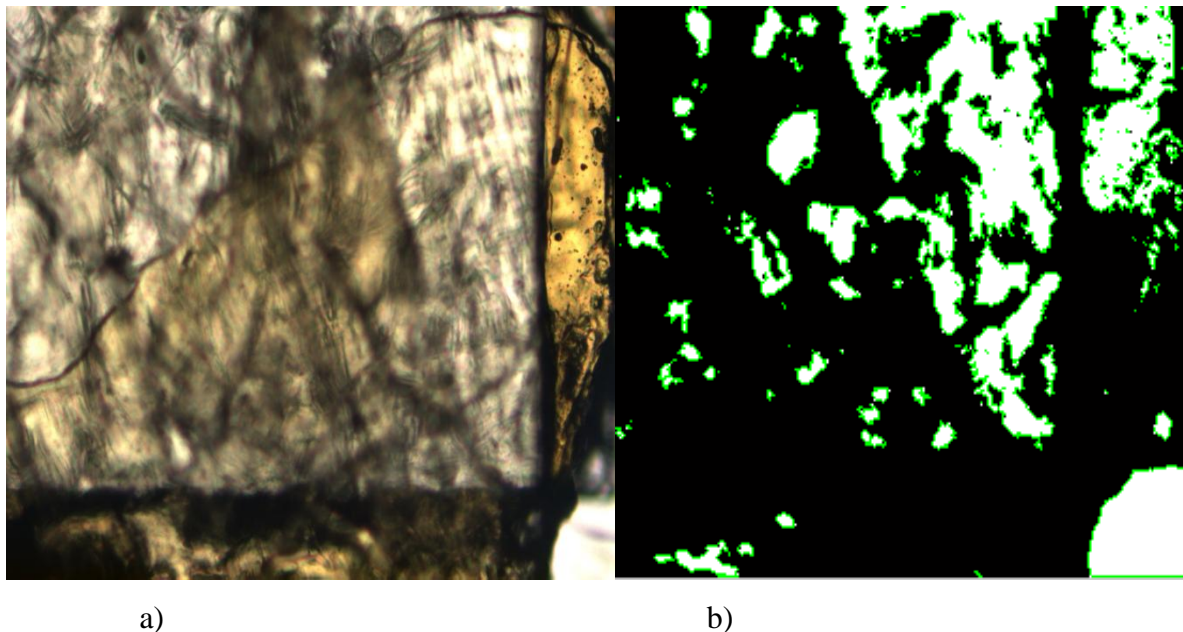
Obr. 19: Detailní zobrazení jednotlivých kroků analýzy na skutečné části vzorku

Legenda: a) Skutečná podoba šmouhy ze získaného vzorku,  
b) Převod do odstínů šedi,  
c) Aplikace prahovacího algoritmu.

Jak lze vidět, tak při převodu snímku vzorku do odstínů šedi nedochází k žádné chybě. Naopak je tomu při aplikaci funkce `threshold` (prahování), kdy dojde k úpravě jasové a barevné složky pixelu, dochází zde k nepřesnému vyhodnocení šmouh. Na tomto příkladu lze vidět, že při vyhodnocování šmouh dochází k velkým chybám. Tyto chyby se dají omezit nastavením vyššího prahu detektoru, kdy světlejší šmouhy jsou ignorovány. Dále lze omezit chybu aplikací prahování s hystezí k omezení šumu, viz 1. typ vady.

### 4.1.3 3. typ vady

Pro ukázkou toho problému byla vybrána okrajová fotka vzorku z měření, na které bude objasněna podstata dalšího problému.



Obr. 20: Skutečný snímek znázorňující okraj sklíčka

Legenda: a) Skutečná ukázka okraje sklíčka,  
b) Aplikován výpočetní skript pro ukázkou vznikající chyby.

Tato vada je způsobena přitlačením druhého sklíčka, kdy dojde k většímu nahromadění pomocné kapaliny na okrajích sklíček. Při aplikaci klasického prahování dochází k velké chybě, jak lze vidět na obr. 20 b). Část vzniklé chyby lze opětovně snížit omezením větších objektů, prahovou hysterezí a nastavením prahu detektoru.

## 4.2 Odstraňování vad vzorků

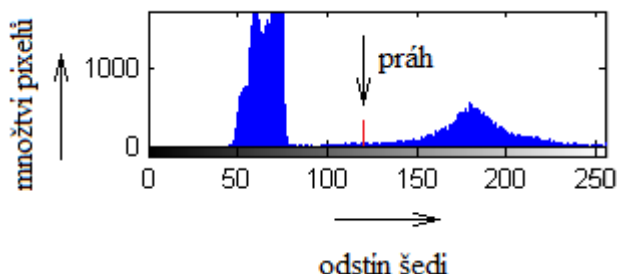
Na vytvořené vzorky se pokusím aplikovat pokročilejší funkce programu MATLAB, abych docílil co nejlepších výsledků při aplikaci výpočetního skriptu.

### 4.2.1 Odstraňování vady 2. tzv. čmouhy

Pro odstranění šmouh použijeme funkce výřez, histogram, `impxelinfo`. Pomocí těchto funkcí se pokusíme nastavit detektor prahování, tak aby došlo k odstranění převážné části tzv. šmouh.

Funkci výřezu použijeme pro odstranění nežádoucí oblasti ze vstupního obrazu. Na tuto operaci existuje funkce `imcrop()` s nastavením jednoho nebo dvou argumentů. Při použití jednoho argumentu, kterým je název proměnné s obrázkem, dovoluje MATLAB vyznačit žádanou oblast, ve které je možno zjistit hladiny jasu a pomocí nich omezit chyby.

Informace o rozdělení úrovní šedi poskytuje funkce `imhist()`. Zjištěných údajů se využívá při určování mezních hodnot při operaci prahování.



Obr. 21: Ukázka histogramu zobrazující informace o úrovních šedi v obraze (převzato [3])

V histogramu jak je vidět na obr. 21 jsou vidět dva vrcholy. Podle této vlastnosti zveme histogram bimodální. První vrchol vypovídá o značném množství tmavých pixelů, druhý vrchol vpravo podává informaci o vysoké četnosti pixelů světlých. Světlejší oblasti obrazu nazveme pozadí a tmavší oblasti obrazu nazveme objekty. Z histogramu můžeme určit míru odlišitelnosti objektů od pozadí v obraze. K jejich vzájemnému oddělení použijeme prahování, při kterém šedotónový obraz převedeme na binární tak, že porovnáme každý pixel vstupního obrazu s tzv. prahovou hodnotou. Získaný binární obraz obsahuje pixely s hodnotou 1 v místě, kde se nachází objekt, hodnoty 0 odpovídají pozadí. Prahová hodnota u bimodálního histogramu leží právě v oblasti mezi dvěma vrcholy.

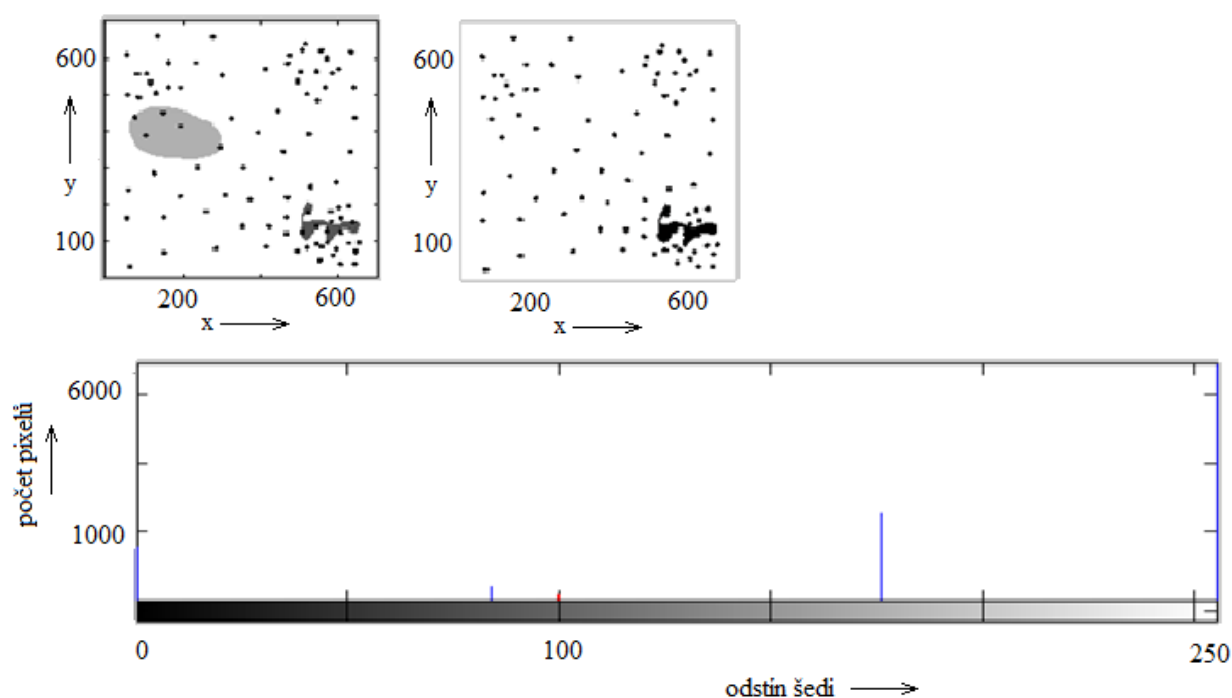
Funkce `impxelinfo`, `impxelregion` se používá tehdy, je-li třeba zkoumat podrobně obraz po jednotlivých pixelech. Pomocí `impxelinfo` se zobrazuje informační okno udávající informace o pixelu, nad kterým se nachází kurzor. `Impxelregion` zobrazuje hodnoty všech pixelů. Určení správné prahové hodnoty bývá obtížné a často je třeba optimální práh stanovit experimentálně.

#### 4.2.2 Ukázka odstranění vad

Na vytvořeném vzorku se pokusím ukázat nastavení hodnoty prahu pro odstranění šmouh.

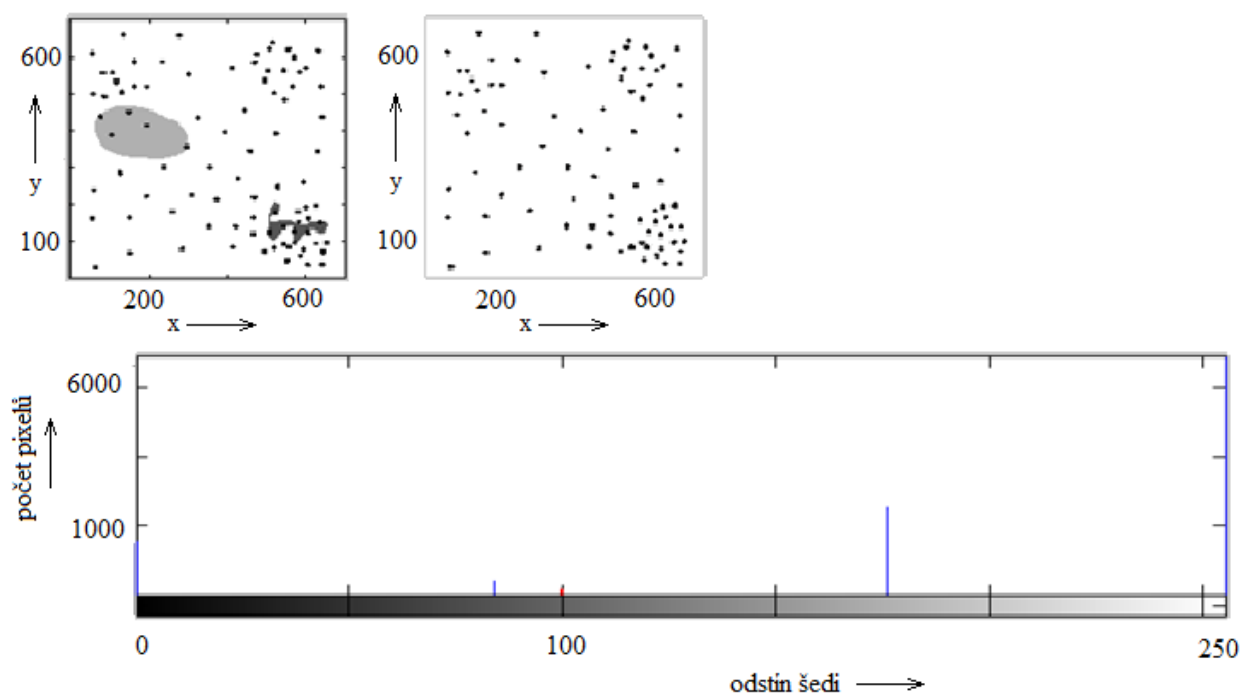
Na obr. 18 je tedy v dolní části zobrazen histogram, kde modré sloupce ukazují rozložení hladin šedi. Nejvíce je v připraveném vzorku barvy bílé, jak ukazuje modrý sloupec úplně vlevo. Dále nejvíce plochy zabírá světlejší šmouha, tuto hladinu zobrazuje modrý sloupec mezi hodnotami 150 a 200. Stejně tak tomu je i v případě tmavší čmouhy, jejíž hladina je zaznamenána mezi hodnotami 50 a 100. Jelikož částicím byla při vytváření vzorku přidělena barva černá, jsou tedy zaznamenány na hodnotě nula. Červený kurzor na hodnotě 100 ukazuje zvolenou hodnotu prahu. To znamená, že hodnoty pixelů větších než 100 budou při detekci převedeny na barvu bílou hodnoty pixelů menších, než 100 budou převedeny na barvu černou. Při aplikaci převodu obrazu na binární je tedy světlejší šmouha odstraněna, tmavší šmouha vyhověla zadané podmínce prahu, byla proto převedena. Abychom ji odstranili je nutno zvolit nový práh o nižší hodnotě a aplikovat převod znovu.





Obr. 22: Výsledek prahování při nastavení hladiny prahu na 100

Jako další krok tedy nezbývá nic jiného, než zvolit práh nižší a provést převod na binární obraz znovu. Na obr. 23 lze vidět provedení změny prahu na hodnotu 70. Po nastavení nové hodnoty prahu byl obraz převeden na binární pomocí prahování, lze vidět, že snížením hodnoty prahu byla odstraněna i tmavší šmouha a všechny částice zůstaly zachovány, takže lze na obraz aplikovat další příkazy, jež umožní výčet částic a zjištění jejich parametrů.



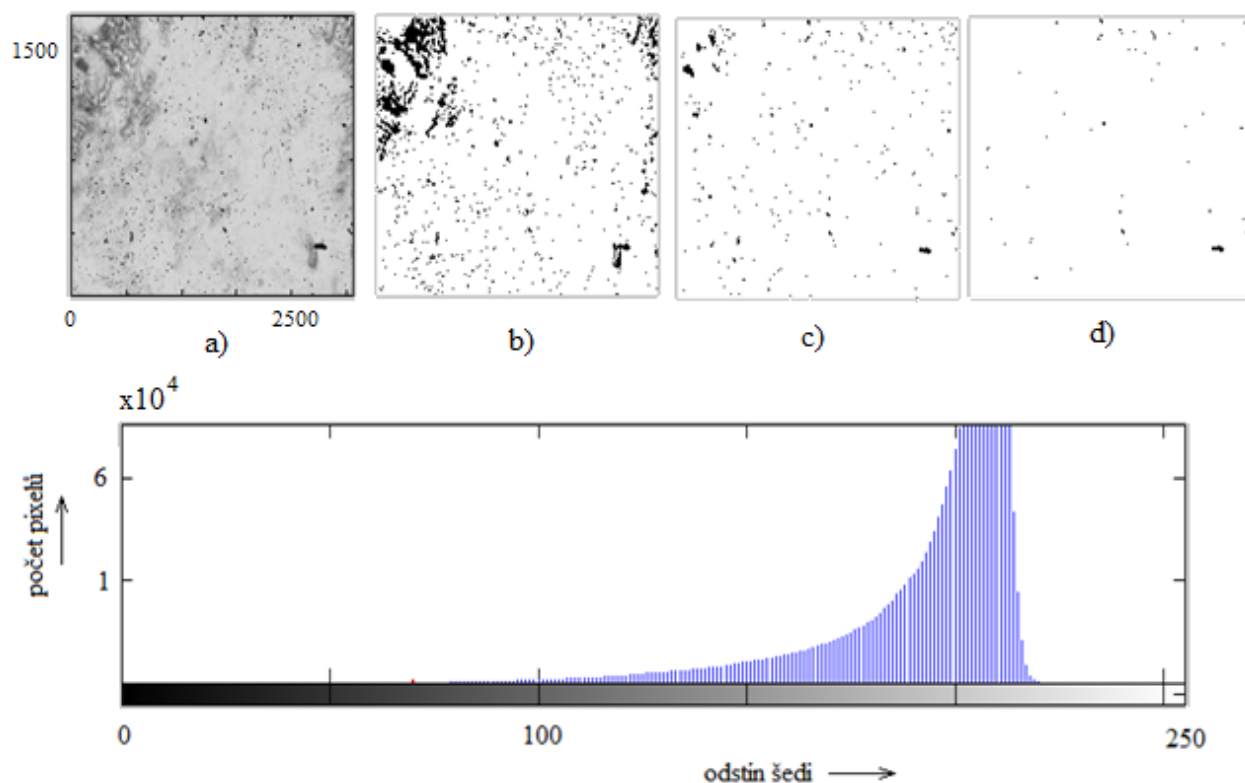
Obr. 23: Výsledek prahování při nastavení hladiny prahu na 70

Aby se tento postup dal uplatnit a bylo možné využít histogramu, je nutné dodržet podmínku převodu vzorku do odstínů šedi. Jelikož tento krok nezpůsobuje žádnou deformaci ani žádné poškození obrazu, lze této funkci využít pro co nejpřesnější výsledky.

Zdrojový kód pro nastavení prahu a pro aplikaci prahování za pomoci histogramu:

```
i=imread('castice_cmouha1.bmp'); %načtení obrazu
i=rgb2gray(i); %převod obrazu do odstínů šedi
c=imcrop(i); %výřez oblasti dat pro histogram
imshow(c) %vykreslení oblasti
subplot(311),subimage(i); %vybereme nacteny obrazek
subplot(312),imhist(i); %zobrazime histogram
prah=70; %nastavime hodnotu prahu
line([prah prah], [0 1700], 'Color', 'r', 'LineWidth', 2); %vyznacime v
histogramu
B=im2bw(i,level/255); %prevedeni obrazku podle prahu v zosahu 0 - 1
subplot(313),imshow(B) %zobrazime vysledek prahovani
```

Ukázka na skutečném vzorku:



Obr. 24: Analýza provedená na skutečné fotografii s různým nastavením prahu

Legenda: a) Převedení na odstíny šedi,

b) Práh nastaven na 150,

c) Práh nastaven na 100,

d) Práh nastaven na 50.

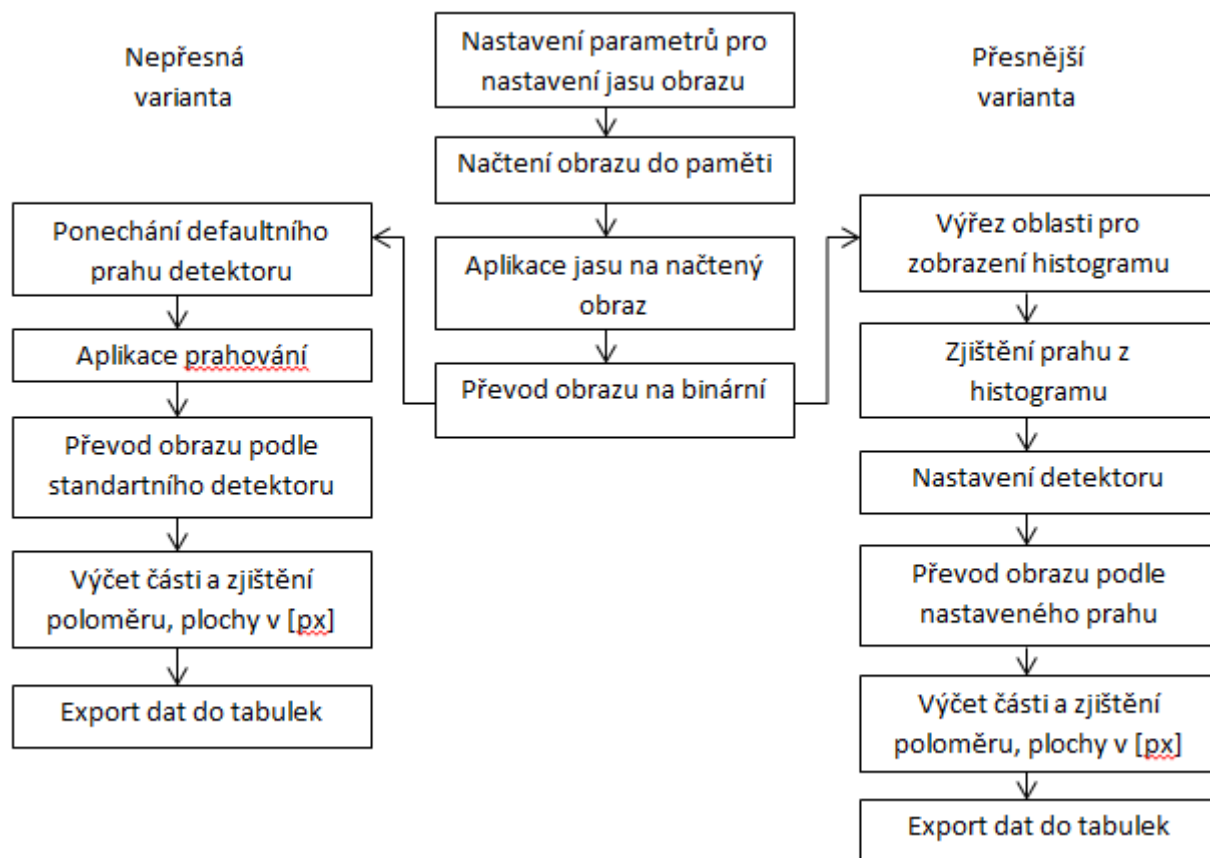


## 5 ZJIŠŤOVÁNÍ OBJEMU ČÁSTIC ZE VZORKŮ

Pro ověření této metodiky byla provedena analýza skutečných vzorků z měření. Měření byla realizována ve třech etapách. Doba zachytávání prachových částic byla 10, 15 a 20 minut. Rozložení a postup získání fotografií proběhl podle postupu zobrazeného na obr. 3. Velikost fotografií je 2560x1920 pixelů, horizontální a vertikální rozlišení je 150 dpi. Měřítka bylo stanoveno z obr. 4, kde 1 mm odpovídá délce 928 pixelů. Z analyzovaných dat získaných programem MATLAB můžeme následně stanovit podle vzorce (1) skutečnou velikost částice.

Data zjištěná programem MATLAB jsou uložena do matice, tyto hodnoty dále exportujeme a uložíme do souboru \*.xls a kde jsou následně zpracovány v programu Microsoft Office Excel.

Blokové schéma, podle kterého je provedena analýza:

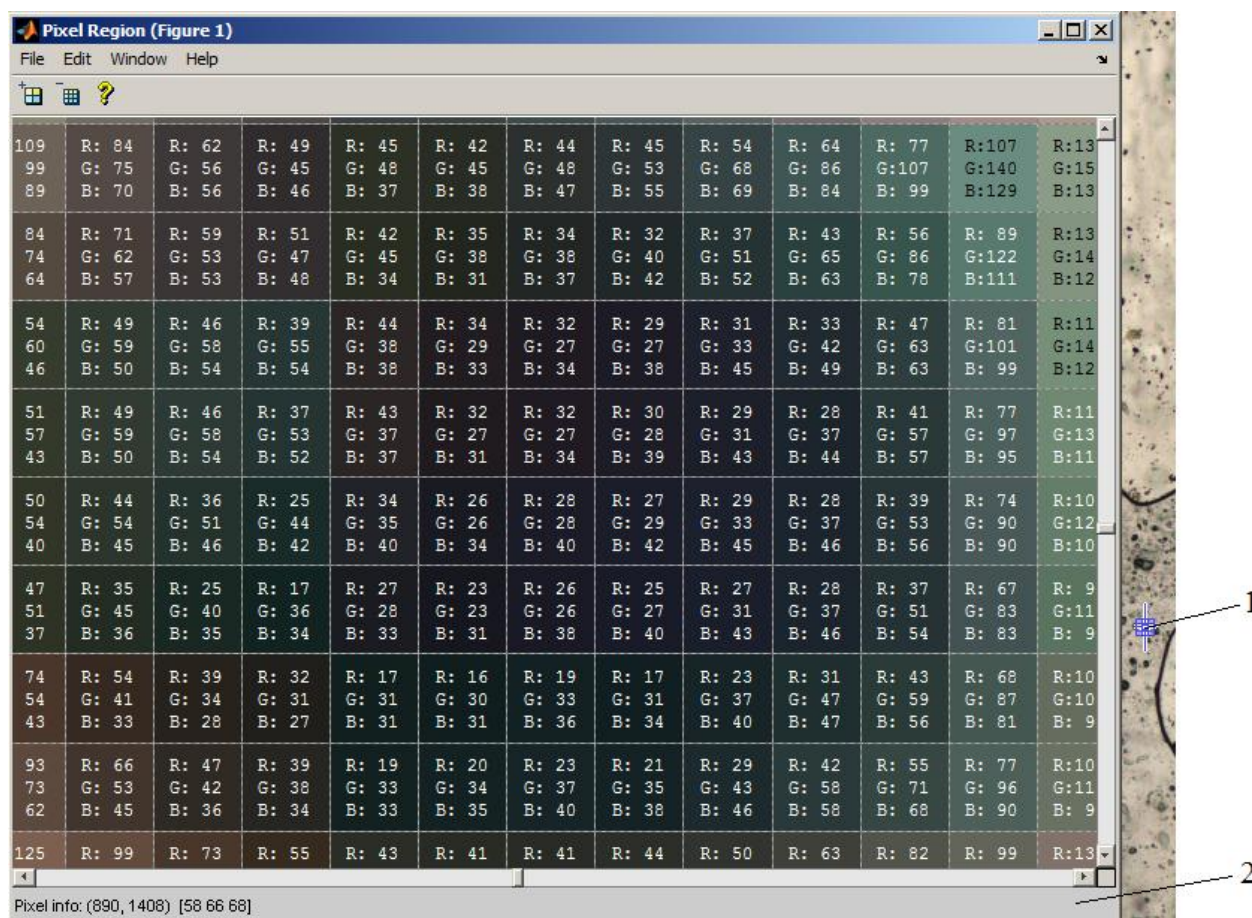


### 5.1 Stanovení prahu a maximální velikosti částice

Důležitý krok pro rychlé provedení analýzy je stanovení prahu, který bude použit pro všechny fotky. Použitím jednotné velikosti prahu urychlí analýzu, ale na druhou stranu se zvýší chyba, hlavně u okrajových fotek.

Prah byl stanoven experimentálně z několika náhodně vybraných fotek a určen pomocí programu MATLAB funkcemi `impixelinfo` a `impixelregion`.

Pomocí těchto funkcí byla hodnota prahu stanovena na hodnotu 70 a maximální velikost částice na hodnotu 30 pixelů. Při provedení analýzy bylo dodrženo těchto zvolených hodnot. Pro přesnější analýzu by bylo nutné volit práh pro každou fotku samostatně.



Obr. 25: Ukázka použití impixelregion pro experimentální zjištění prahu

Legenda: 1) Vybraný detail na fotografii,

2) Zobrazovaný detail s výpisem barevné hloubky pixelu.

## 5.2 Stanovení objemu vzorku:

Z prvního měření, kdy zachytávání prachových částic probíhalo 10 minut, bylo mikroskopem získáno 99 fotografií, jež byly všechny postupně analyzovány programem MATLAB podle blokového schématu, uvedeného v kapitole 5 na str. 30. Naměřená data jsou ukládána do předchystaných tabulek ve formátu \*.xls. Tyto tabulky jsou dále zpracovány programem Microsoft Excel, kde proběhlo seřazení hodnot, vyloučení částic větších než 30 pixelů, přepočet na skutečnou velikost v mm a stanovení celkového objemu.

Zjištěné a vypočtené hodnoty objemu částic detekovaných v jednotlivých fotografiích jsou zapsány v tabulkách v příloze. Dílčí tabulky s parametry jednotlivých částic nejsou uvedeny z důvodu velkého množství dat.

## 6 VÝPOČET OPOTŘEBENÍ KARTÁČE Z ANALYZOVANÝCH DAT

Ze stanovených objemů z jednotlivých fotografií vypočteme celkový objem prachových částic pro dané měření po 10, 15 a 20 minutách. Ze znalosti vlastností a geometrii kartáče můžeme dále snadno zjistit velikost opotřebení kartáče za danou dobu.

### 6.1 Typ kartáče:

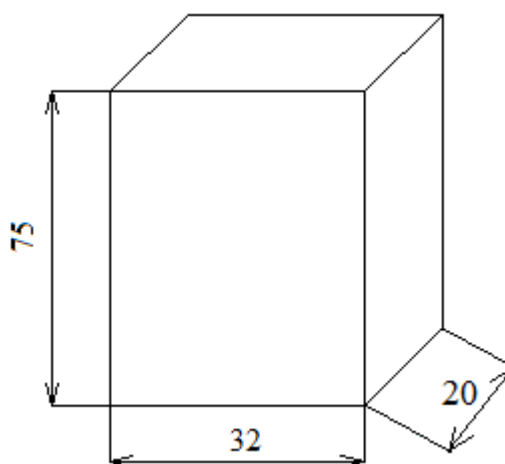
V tabulce č. 8 jsou uvedeny typy kartáčů. Naše měření bylo provedeno na typu LFC 55h od výrobce Carbon Lorrain.

→

Druh kartáče	Výrobce	Velikost opotřebení $\Delta h/1000h$ [mm3]
E 104	Sohuk	9,25
LFC 55h	Carbon Lorrain	6,35
EG 2A	Elektrokontakt	10,30

Tab. 8: Typy kartáčů

Rozměry kartáče LFC 55h:



Obr. 26: Rozměry kartáče

Legenda: Značení rozměrů kartáče:  $a = 32\text{mm}$ ,  $b = 20\text{mm}$ ,  $h = 75\text{mm}$ .

Hmotnost kartáče  $m = 100 - 200$  gramů s vývody.

U takto velkých strojů jsou vývody kartáčů větších rozměrů, jelikož neznáme jejich přesnou hmotnost, nemůžeme k přepočtu využít hmotnosti. Z tohoto důvodu používáme objemový přepočet.

## 6.2 Přepočet celkového objemu na velikost opotřebení kartáče:

Ze známých parametrů kartáče a hodnot z tabulky č. 8 můžeme stanovit úbytek kartáče za 10 minut. Tuto hodnotu lze považovat za hodnotu správnou, jež nám poslouží k porovnání velikostí vypočtených z analyzovaných dat.

Za 1 hod. je velikost opotřebení:

$$\Delta h_{1hod} = \frac{6,35}{1000} = 0,00635mm \quad (2)$$

Za 10 min. je velikost opotřebení :

$$\Delta h_{10min} = \frac{0,00635}{60} \cdot 10 = 0,0010583mm \quad (3)$$

Z tabulky v příloze P1 odečteme hodnotu celkového objemu částic  $\Sigma V_i = 0,869928mm^3$ .

Ze známosti celkového objemu zjištěného analýzou a známých rozměrů kartáče z obr. 26, lze už snadno dopočítat opotřebení kartáče:

$$V = a \cdot b \cdot h = 32 \cdot 20 \cdot h \quad (4)$$

$$h = \frac{\Sigma V_i}{32 \cdot 20} = \frac{0,869928}{32 \cdot 20} = 0,001359 mm \quad (5)$$

Výsledek opotřebení podle hodnot zjištěných analýzou lze porovnat se stanovenou hodnotou  $\Delta h_{10min}$ , chyba činí 28,43%.

Pro ověření funkčnosti analýzy lze provést zpětnou kontrolu, a to tak že sestavu fotografií získaných z měření otočíme o 90° a aplikujeme výpočetní analýzu znovu.

Po provedení této analýzy získáme podobnou tabulku jako v prvním případě. Kontrolní tabulka je uvedena v příloze P4.

Výsledný objem prachových částic zjištěný kontrolním přepočtem je  $\Sigma V_i = 0,838861mm^3$ , což přibližně odpovídá výsledkům z původních fotografií. Podle tohoto výsledku lze usoudit, že funkčnost analýzy je vyhovující.

### 6.3 Výsledky naměřených dat z provedené analýzy:

Výsledky analýzy na fotografiích získaných z mikroskopu:

Čas zachytávání [min]	Objem zachycených částic [mm <sup>3</sup> ]	Přepočtený objem částic na délku opotřebení [mm]	Vypočtená délka opotřebení kartáče [mm]	Chyba [%]
10	0,869928	0,001359	0,001058	28,45
15	1,626646	0,002542	0,001588	60,07
20	2,125653	0,003321	0,002117	54,03

Tab. 9: Výsledné naměřené a vypočtené hodnoty pro 3 etapy měření

Výsledky analýzy po provedení kontroly:

Čas zachytávání [min]	Objem zachycených částic [mm <sup>3</sup> ]	Přepočtený objem částic na délku opotřebení [mm]	Vypočtená délka opotřebení kartáče [mm]	Chyba [%]
10	0,838861	0,001311	0,001058	23,91
15	1,612454	0,002519	0,001588	58,62
20	2,127628	0,003324	0,002117	57,01

Tab. 10: Výsledné naměřené a vypočtené hodnoty pro 3 etapy měření (kontrola)

---

## 7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci orientované na problematiku využití mikroskopu pro zlepšení diagnostických metod, jsem se zaměřil na metodu „prachových částic“, která slouží k posouzení nejproblematictějších částí skupiny elektrických strojů s kluzným kontaktem. Součástí mé bakalářské práce bylo také vytvoření jednoduchého návodu pro práci s mikroskopem Arsenal LPT 1513 – T.

V práci, věnované praktickému využití mikroskopu v technické praxi, byl realizován první pokus o usnadnění a zefektivnění dlouhodobých zkoušek u strojů s kluzným kontaktem. Mikroskop ve spojení s výpočetní technikou umožnil realizovat objem prací, které by se za normálních podmínek jen obtížně zvládaly. A zejména v požadované přesnosti.

Výsledky, dosažené analýzou prachových částic na získaných vzorcích ze tří etap měření mají vypovídací schopnost a mohou být velkým přínosem zejména při porovnávání různých kartáčů, posuzování prašnosti v různých prostorech, apod.

## 8 LITERATURA

- [1] KOZUMPLÍK, M.: *Problematika revizí elektrických zařízení*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 40 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. František Veselka, CSc.
- [2] BŘEZINA, J.: Jak je to s rozlišením skeneru?. *Skenery* [online]. 24.01.2001, 1, [cit. 2010-11-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.grafika.cz/art/skenery/sken\\_rozliseni.html](http://www.grafika.cz/art/skenery/sken_rozliseni.html)>.
- [3] BARTOŠ, A.: O skenování a skenerech podrobně I. - Základní pojmy. *Technologie* [online]. 09.12.2004, 1, [cit. 2010-11-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.fotografovani.cz/art/fotech\\_df/skenery1.html](http://www.fotografovani.cz/art/fotech_df/skenery1.html)>.
- [4] REDDY, A.: Image Processing and Counting using MATLAB. *Computers* [online]. Jun 10, 2010, 1, [cit. 2010-11-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.instructables.com/id/Image-Processing-and-Counting-using-MATLAB/>>.
- [5] JIRÁK, E.: Analýza obrazu – moderní prostředek pro technickou praxi . *Automa* [online]. Květen 2004, 2004, 5, [cit. 2010-11-5]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32337](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32337)>.
- [6] VESELKA, F.: PRAKTICKÁ APLIKACE Metody prachových částic. In *Propagace metody prach castic*. [s.l.] : [s.n.], 17.10.2010. s. 1-3.
- [7] VESELKA, F.: Poskytnuté podkladové materiály, Brno 2010.
- [8] *Wikipedie* [online]. 7.6.2006, 12.1.2011 [cit. 2011-05-20]. Prahování. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Prahov%C3%A1n%C3%AD>>.
- [9] *Wikipedie* [online]. 6.7.2005, 28.12.2009 [cit. 2011-05-20]. Detekce hran. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Detekce\\_hran](http://cs.wikipedia.org/wiki/Detekce_hran)>.
- [10] KULA, Jiří; LINKA, Aleš; TUNÁK, Maroš. *E-learning* [online]. 2002-2007 [cit. 2011-05-20]. Multimediální studijní materiály pro analýzu prostorových dat. Dostupné z WWW: <[http://blade1.ft.tul.cz/~tyr/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContent&theme\\_id=33](http://blade1.ft.tul.cz/~tyr/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContent&theme_id=33)>.
- [11] MARKOVÁ, Jana. Dotazník pro určení rozměrů a kvality (materiálu) uhlíkového kartáče. *Dotazník* [online]. 4.1.2005, 1, [cit. 2011-05-20]. Dostupný z WWW: <[www.cz-carbon.cz/dotaznik.doc](http://www.cz-carbon.cz/dotaznik.doc)>.

---

## SEZNAM PŘÍLOH

A1	Tabulka naměřených hodnot pro první etapu měření 10 min	43
A2	Tabulka naměřených hodnot pro první etapu měření 15 min	44
A3	Tabulka naměřených hodnot pro první etapu měření 20 min	45
A4	Tabulka naměřených hodnot pro první etapu měření 10 min	46
A5	Tabulka naměřených hodnot pro první etapu měření 15 min	47
A6	Tabulka naměřených hodnot pro první etapu měření 20 min	48
B1	Zdrojový kód použitý pro analýzu vzorků	



**A1 - TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO PRVNÍ ETAPU MĚŘENÍ 10 MIN**

Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]
1	0,002027	34	0,007060	67	0,011880
2	0,011181	35	0,002921	68	0,003259
3	0,023378	36	0,004282	69	0,004583
4	0,018920	37	0,002846	70	0,010167
5	0,019980	38	0,007011	71	0,005337
6	0,014605	39	0,010731	72	0,003143
7	0,005226	40	0,010955	73	0,008150
8	0,004303	41	0,009850	74	0,002575
9	0,003146	42	0,010111	75	0,008707
10	0,011279	43	0,009563	76	0,011153
11	0,023332	44	0,005806	77	0,010743
12	0,019169	45	0,003652	78	0,005243
13	0,017372	46	0,006599	79	0,005519
14	0,014878	47	0,008849	80	0,011311
15	0,014865	48	0,015007	81	0,003311
16	0,004938	49	0,012797	82	0,002654
17	0,003783	50	0,011217	83	0,008132
18	0,001653	51	0,013176	84	0,009587
19	0,006630	52	0,015945	85	0,006118
20	0,016107	53	0,010080	86	0,012329
21	0,016086	54	0,005646	87	0,007785
22	0,013137	55	0,004855	88	0,008057
23	0,011814	56	0,022391	89	0,008213
24	0,016111	57	0,005103	90	0,004882
25	0,006075	58	0,012069	91	0,005140
26	0,002588	59	0,004467	92	0,000634
27	0,003556	60	0,008553	93	0,000442
28	0,002258	61	0,017162	94	0,004162
29	0,015617	62	0,012249	95	0,004989
30	0,016434	63	0,004736	96	0,002872
31	0,014100	64	0,009337	97	0,001772
32	0,010058	65	0,004323	98	0,003777
33	0,012875	66	0,003612	99	0,004887
				<b>ΣV<sub>i</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>0,869928</b>

**A2 - Tabulka naměřených hodnot pro druhou etapu měření 15 min**

Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]
1	0,011640	34	0,010749	67	0,009847
2	0,120010	35	0,013685	68	0,003518
3	0,014901	36	0,007022	69	0,023468
4	0,007714	37	0,019418	70	0,010167
5	0,036330	38	0,007111	71	0,025235
6	0,016800	39	0,014565	72	0,004044
7	0,029119	40	0,011989	73	0,025733
8	0,018415	41	0,011635	74	0,012966
9	0,002753	42	0,010722	75	0,087070
10	0,017315	43	0,013949	76	0,009214
11	0,036871	44	0,010104	77	0,008689
12	0,002469	45	0,002715	78	0,005213
13	0,001482	46	0,018380	79	0,009800
14	0,031960	47	0,013824	80	0,035247
15	0,024309	48	0,019882	81	0,011935
16	0,016423	49	0,014015	82	0,003446
17	0,014619	50	0,013402	83	0,017060
18	0,003362	51	0,023799	84	0,031719
19	0,004064	52	0,020332	85	0,023787
20	0,012685	53	0,012227	86	0,015255
21	0,016519	54	0,007729	87	0,010100
22	0,009396	55	0,027415	88	0,010834
23	0,020551	56	0,017280	89	0,015098
24	0,029085	57	0,007937	90	0,011974
25	0,012001	58	0,009942	91	0,007568
26	0,022121	59	0,006034	92	0,015613
27	0,004348	60	0,025403	93	0,021525
28	0,016987	61	0,044447	94	0,017699
29	0,026276	62	0,009381	95	0,006438
30	0,021522	63	0,006346	96	0,003497
31	0,016234	64	0,012184	97	0,001517
32	0,017043	65	0,015056	98	0,006834
33	0,012222	66	0,012397	99	0,005914
				<b>ΣVi [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>1,626646</b>

**A3** - Tabulka naměřených hodnot pro třetí etapu měření 20 min

Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]
1	0,018440	34	0,031517	67	0,014566
2	0,022868	35	0,035005	68	0,029210
3	0,031461	36	0,008493	69	0,017997
4	0,010842	37	0,037287	70	0,038988
5	0,004317	38	0,023425	71	0,029410
6	0,005586	39	0,029814	72	0,011784
7	0,005439	40	0,014490	73	0,021019
8	0,003627	41	0,029099	74	0,021934
9	0,000095	42	0,029048	75	0,011357
10	0,034405	43	0,025227	76	0,010005
11	0,002530	44	0,039287	77	0,012929
12	0,025597	45	0,010273	78	0,010395
13	0,026810	46	0,033967	79	0,012560
14	0,032177	47	0,020284	80	0,036297
15	0,009392	48	0,029318	81	0,005862
16	0,002765	49	0,023536	82	0,011564
17	0,049590	50	0,023586	83	0,022365
18	0,006946	51	0,031476	84	0,009006
19	0,038530	52	0,026514	85	0,011958
20	0,034557	53	0,039803	86	0,015909
21	0,030486	54	0,012379	87	0,028410
22	0,028850	55	0,022929	88	0,036149
23	0,024652	56	0,021581	89	0,029488
24	0,029824	57	0,031506	90	0,005171
25	0,005961	58	0,020945	91	0,011283
26	0,045982	59	0,043662	92	0,015858
27	0,008621	60	0,011761	93	0,020744
28	0,032567	61	0,010751	94	0,013136
29	0,034077	62	0,013874	95	0,018610
30	0,026357	63	0,011655	96	0,026994
31	0,031600	64	0,020535	97	0,023456
32	0,028335	65	0,012639	98	0,025696
33	0,028551	66	0,012754	99	0,005286
				<b>ΣV<sub>i</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,125653</b>

**A4** - Tabulka naměřených hodnot pro první etapu měření 10 min (kontrola)

Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]
1	0,005325	34	0,007084	67	0,003752
2	0,011143	35	0,002951	68	0,011967
3	0,011102	36	0,004265	69	0,003001
4	0,006350	37	0,002858	70	0,004579
5	0,003011	38	0,007043	71	0,010257
6	0,014673	39	0,010868	72	0,005375
7	0,005020	40	0,011016	73	0,003230
8	0,004446	41	0,009159	74	0,008177
9	0,004536	42	0,010295	75	0,002603
10	0,011543	43	0,009535	76	0,008696
11	0,008308	44	0,005608	77	0,011094
12	0,019055	45	0,003506	78	0,010686
13	0,016995	46	0,006582	79	0,005307
14	0,014375	47	0,008847	80	0,005382
15	0,014790	48	0,014829	81	0,011250
16	0,004980	49	0,012936	82	0,003325
17	0,003925	50	0,011109	83	0,002651
18	0,002740	51	0,013377	84	0,007848
19	0,007223	52	0,015908	85	0,009602
20	0,016108	53	0,010325	86	0,006049
21	0,015848	54	0,005641	87	0,012243
22	0,013090	55	0,004879	88	0,007765
23	0,012025	56	0,005098	89	0,008174
24	0,016303	57	0,005103	90	0,008170
25	0,005916	58	0,005016	91	0,004837
26	0,002598	59	0,012182	92	0,007379
27	0,003454	60	0,004789	93	0,005641
28	0,002251	61	0,008411	94	0,008067
29	0,015680	62	0,016997	95	0,010707
30	0,016321	63	0,011941	96	0,012142
31	0,014360	64	0,004893	97	0,006839
32	0,010115	65	0,009309	98	0,005967
33	0,012862	66	0,004281	99	0,008312
				<b>ΣV<sub>i</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>0,838861</b>

**A5** - Tabulka naměřených hodnot pro druhou etapu měření 15 min (kontrola)

Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]
1	0,013103	34	0,010821	67	0,009611
2	0,014437	35	0,014068	68	0,003565
3	0,014216	36	0,007038	69	0,023269
4	0,007694	37	0,019617	70	0,028976
5	0,009417	38	0,003462	71	0,025506
6	0,005959	39	0,006648	72	0,004100
7	0,029837	40	0,001035	73	0,003004
8	0,011439	41	0,004058	74	0,013288
9	0,001841	42	0,011201	75	0,008960
10	0,029917	43	0,013936	76	0,009378
11	0,008736	44	0,009604	77	0,008709
12	0,002502	45	0,002680	78	0,004216
13	0,001331	46	0,018480	79	0,009502
14	0,018654	47	0,014112	80	0,014493
15	0,033854	48	0,005370	81	0,051060
16	0,043769	49	0,001196	82	0,003472
17	0,017568	50	0,002570	83	0,017403
18	0,001101	51	0,023780	84	0,031026
19	0,018175	52	0,020397	85	0,023797
20	0,029166	53	0,012067	86	0,003435
21	0,002779	54	0,002156	87	0,002673
22	0,003549	55	0,027379	88	0,029900
23	0,003899	56	0,017052	89	0,015385
24	0,014955	57	0,007804	90	0,012224
25	0,011875	58	0,009950	91	0,002432
26	0,011472	59	0,003832	92	0,021236
27	0,004299	60	0,025589	93	0,017945
28	0,017024	61	0,018525	94	0,001423
29	0,026528	62	0,009464	95	0,001456
30	0,005317	63	0,003172	96	0,001616
31	0,002157	64	0,432620	97	0,007001
32	0,006380	65	0,015040	98	0,005993
33	0,012422	66	0,012196	99	0,002170
				<b>ΣVi [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>1,640515</b>

**A6 -** Tabulka naměřených hodnot pro třetí etapu měření 20 min (kontrola)

Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]	Fotografie č.	Objem detekovaných částic [mm <sup>3</sup> ]
1	0,012220	34	0,011297	67	0,006877
2	0,032793	35	0,014976	68	0,027557
3	0,006898	36	0,010693	69	0,016423
4	0,013149	37	0,023509	70	0,020767
5	0,010526	38	0,013932	71	0,009380
6	0,008418	39	0,017786	72	0,006603
7	0,008316	40	0,148040	73	0,010336
8	0,048365	41	0,011501	74	0,021901
9	0,014633	42	0,015249	75	0,002474
10	0,006146	43	0,014628	76	0,004846
11	0,027461	44	0,017165	77	0,227470
12	0,008745	45	0,010556	78	0,023913
13	0,027252	46	0,014785	79	0,027031
14	0,013999	47	0,020649	80	0,038914
15	0,025827	48	0,014751	81	0,004199
16	0,033226	49	0,010503	82	0,009005
17	0,030301	50	0,008931	83	0,028705
18	0,017600	51	0,012379	84	0,019487
19	0,024169	52	0,009822	85	0,019052
20	0,015686	53	0,017569	86	0,027940
21	0,011997	54	0,009248	87	0,023791
22	0,011100	55	0,006125	88	0,012110
23	0,009750	56	0,021299	89	0,010075
24	0,011788	57	0,014030	90	0,010573
25	0,017143	58	0,008724	91	0,011676
26	0,023689	59	0,024990	92	0,016294
27	0,010569	60	0,023488	93	0,012759
28	0,184380	61	0,026029	94	0,016617
29	0,019957	62	0,023635	95	0,016489
30	0,009701	63	0,010686	96	0,019513
31	0,016547	64	0,020300	97	0,019513
32	0,011084	65	0,002422	98	0,016011
33	0,012402	66	0,012130	99	0,008416
				<b>ΣV<sub>i</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,104381</b>

---

**B1 – zdrojový kód použitý pro analýzu vzorků**

```
k = 1.2; %konstanta pro vysvetlení obrazu
j = 10; %konstanta pro vysvetlení obrazu
lut = uint8(k*(0:255) + j);
I = imread('*.jpg'); %nactení zpracovávaného obrazu
subplot(221), subimage(I);
J = intlut(I, lut); %vysvetlení obrazu podle zadanych parametru
subplot(222), subimage(J);

i=J; %načtení obrazu
i=rgb2gray(i);%převod obrazu do odstínů šedi
c=imcrop(i); %výřez oblasti dat pro histogram
imshow(c); %vykreslení oblasti
subplot(311),subimage(i); %vybereme nacteny obrazek
subplot(312),imhist(i); %zobrazime histogram
prah=70; %nastavime hodnotu prahu
line([prah prah], [0 1700], 'Color', 'r', 'LineWidth', 2); %vyznacime v
histogramu
B=im2bw(i,prah/255); %prevedeni obrazku podle prahu v zosahu 0 - 1
B=~B;
subplot(313),imshow(B) %zobrazime vysledek prahovani

F = imfill(B, 'holes'); %vzplnění detekovaných objektů
L = bwlabel(F); %detekce hran (zjistění počtu objektů)
P = regionprops(L, 'Area', 'Perimeter'); %zápis plochy a polomeru v pixelech
X = [P.Area; P.Perimeter ]; %převod struktury na jednoduchou matici
xlswrite('C:\data\*.xls', X) %zápis hodnot z matice X do tabulky
```